



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**Diseño de depósito de materiales de desbroce en
condiciones desfavorables**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR

Alex Guido ALCALÁ PAUCAR

ASESOR

Abdel ARROYO AGUILAR

Lima, Perú

2017



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Alcalá, A. (2017). *Diseño de depósito de materiales de desbroce en condiciones desfavorables*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



119

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú - Decana de América)
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
Av. Colonial cdra. 53 - Ciudad Universitaria
Central Telefónica: 619-71. anexos: 1110 - 1111
Lima 1 - Perú

108

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

En las instalaciones de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el jueves 19 de enero del 2017, siendo las 13:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado.

Ing. VÍCTOR HUGO RAMÍREZ PONCE
Mag. ENRIQUE GUADALUPE GÓMEZ
Mag. MARIANO PACHECO ORTÍZ

Miembro Presidente
Miembro
Miembro

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS de Don ALEX GUIDO ALCALÁ PAUCAR, Bachiller en Ingeniería de Minas, quien sustentó la Tesis Titulada: "DISEÑO DE DEPÓSITO DE MATERIALES DE DESBROCE EN CONDICIONES DESFAVORABLES", para la obtención del Título Profesional de Ingeniero de Minas.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

SATISFACCIÓN

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue la nota de:

17 (DIECISIETE)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Miembro Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS, a Don ALEX GUIDO ALCALÁ PAUCAR.

Siendo las 15:00 horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis.

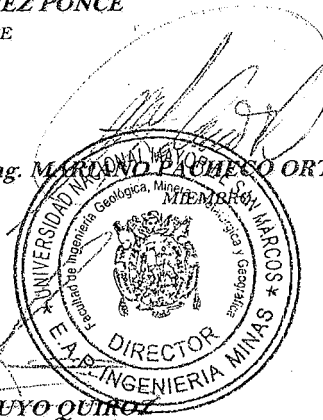
Ciudad Universitaria, 19 de enero del 2017

Ing. VÍCTOR HUGO RAMÍREZ PONCE
MIEMBRO PRESIDENTE

Mag. ENRIQUE GUADALUPE GÓMEZ
MIEMBRO

Mag. MARIANO PACHECO ORTÍZ
MIEMBRO

Dr. ANTONIO EDILBERTO LUYO QUIROZ
DIRECTOR
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



RESUMEN

El proyecto minero se encuentra ubicado al norte del departamento de Cajamarca. Para iniciar las operaciones mineras, se debe remover gran cantidad de material de desbroce, los que deberán ser dispuestos en el respectivo Depósito de Materiales de Desbroce (en adelante DMB).

La mina se encuentra en una ubicación que posee condiciones desfavorables para establecer un DMB: ya que no tiene la geomorfología necesaria para asentar el desbroce (ángulo de terreno $\leq 20^\circ$); el desbroce posee potencial de formar aguas ácidas y no hay suficiente área superficial para el asentamiento del depósito.

Por este motivo, se planificó un diseño controlando los problemas mencionados. Se realizaron trabajos de campo y gabinete, pruebas de laboratorio para obtener parámetros que determinarán su construcción: como la aceleración sísmica; propiedades índices de los suelos y materiales e intensidad de lluvia, entre otros.

Se determinó la ubicación del DMB teniendo en cuenta el área y volumen proyectado de desbroce, incluyendo en el diseño de construcción de diques de contención y el sistema de colección de subdrenaje y aguas superficiales.

Acorde con la legislación vigente, los trabajos de cierre del DMB empiezan con la colocación de la cobertura a base de geomembrana y material de baja permeabilidad. Posteriormente se le colocará una capa de suelo orgánico y se procede al sembrado de pastos nativos.

La función de la cobertura de geomembrana es impermeabilizar el material generador de aguas ácidas de las precipitaciones para evitar la generación de aguas ácidas.

La restauración del lugar es la etapa final en la cual se devuelve en lo posible su aspecto original para la recuperación del impacto visual. Otro motivo de la restauración, es el encapsulamiento de estos materiales que puedan afectar a las personas, ganados o terreno agrícola.

INDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS	7
1.1 INTRODUCCION	7
1.2 OBJETIVOS.....	9
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	9
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 TIPOS DE DEPÓSITOS	10
2.2 FACTORES DE ESTABILIDAD DE DEPÓSITOS	10
2.2.1 CONFIGURACIÓN DEL DEPÓSITO	10
2.2.2 ÁNGULO Y CIMENTACIÓN DEL TERRENO: FACTOR DE SEGURIDAD	12
2.2.3 TIPOS DE TERRENO DE CIMENTACIÓN.....	12
2.2.4 MATERIAL DE RELLENO	13
2.2.5 CONDICIONES CLIMÁTICAS Y NIVEL FREÁTICO.....	14
2.2.6 SISMICIDAD Y ESTABILIDAD DINÁMICA	15
CAPITULO 3. EVALUACIONES PRELIMINARES PARA EL DMB.....	19
3.1 EVALUACIÓN GEOLÓGICA.....	19
3.1.1 GEOLOGÍA REGIONAL	19
3.1.2 GEOLOGÍA LOCAL	19
3.2 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE CAMPO Y LABORATORIO	22
3.2.1 MAPEO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.....	22
3.2.2 CALICATAS.....	22
3.2.3 ENSAYOS DE CAMPO	29
3.2.4 ENSAYOS DE DENSIDAD IN-SITU	29
3.2.5 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	30
3.2.6 ENSAYOS DE PROPIEDADES ÍNDICES	30
3.2.7 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR)	31
3.2.8 ENSAYOS DE RESISTENCIA CORTANTE TRIAXIAL.....	32
3.2.9 UNIDADES GEOTECNICAS.....	33
3.2.10 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	35
3.3 EVALUACIÓN HIDROLÓGICA	37
3.3.1 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.....	38
3.4 ENSAYOS GEOQUÍMICOS Y QUÍMICOS	39
3.4.1 GEOQUÍMICA DEL DEPÓSITO DE MATERIALES DE DESBROCE:	39
3.4.2 CRITERIOS DE MUESTREO:	39
3.4.3 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL COMPÓSITO DE DESBROCE	40
3.4.4 PRUEBA ESTÁTICA DEL COMPÓSITO DE DESBROCE	41
3.4.5 PRUEBA CINÉTICA DEL COMPÓSITO DE MATERIAL DE DESBROCE	44
3.5 EVALUACIÓN SÍSMICA.....	48
3.5.1 SISMICIDAD DEL ÁREA.....	48
3.5.2 ACELERACIÓN DE DISEÑO	49
3.5.3 COEFICIENTE SÍSMICO	50
CAPITULO 4. DESARROLLO DEL TEMA	51
4.1 CÁLCULOS GEOTÉCNICOS.....	51
4.1.1 GENERALIDADES	51

4.1.2	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	51
4.1.3	CRITERIOS DE DISEÑO.....	54
4.1.4	CONDICIÓN DE ANÁLISIS.....	54
4.1.5	RESULTADOS OBTENIDOS	55
4.2	CÁLCULOS HIDROLÓGICOS	60
4.2.1	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	60
4.2.2	ANÁLISIS DE FRECUENCIA	64
4.2.3	PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE.....	65
4.2.4	PRUEBA DE SMIRNOV-KOLMOGOROV.....	65
4.2.5	METODO RACIONAL	67
4.2.6	PERIODO DE RETORNO.....	70
4.2.7	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	70
4.2.8	ÁREA DE IMPLUVIO Y DRENAJE NATURAL DEL AGUA.....	71
4.2.9	CÁLCULOS HIDRAULICOS	71
4.2.10	CUNETAS DE EVACUACION, DERIVACION Y CORONACION DEL DEPÓSITO DE MATERIAL DE DESBROCE	72
4.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO	74
4.3.1	APLICACIÓN DE ESQUEMA DE ESTABILIDAD	79
CAPITULO 5. DISEÑO CIVIL DEL DMB.....		79
5.1	GENERALIDADES	79
5.2	DISEÑO CIVIL	80
5.3	MOVIMIENTOS DE TIERRA	80
5.4	DIQUE DE ARRANQUE Y RETENCIÓN	81
5.5	CAMINO DE ACCESO	84
5.6	SISTEMA DE SUBDRENAJE.....	84
5.7	ALIVIADERO DE DEMASÍAS	85
5.8	COLOCACION DE DESBROCE	85
5.9	CANAL DE CORONACION	87
5.10	MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL Y DE COBERTURA EN EL DMB.....	91
5.10.1	SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL CON CUNETAS DE EVACUACIÓN	91
5.10.2	SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL CON UN CUNETA DE DERIVACIÓN	92
5.11	COBERTURA	95
5.11.1	COBERTURA CON GCL + GEOMEMBRANA	95
5.11.2	COBERTURA CON MATERIAL ORGÁNICO (TOP SOIL) Y MATERIAL DE BAJA PERMEABILIDAD.....	97
5.12	OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	97
5.12.1	OBRAS COMPLEMENTARIAS	97
5.12.2	MONITOREO	98
5.12.3	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.....	99
CAPITULO 6. COSTOS.....		101
6.1	MOVIMIENTO DE TIERRAS Y GEOSINTÉTICOS.....	101
6.2	ESTIMADO DE COSTOS	101
CAPITULO 7. CONCLUSIONES		106
CAPITULO 8. RECOMENDACIONES FINALES		107
CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA		108

LISTADO DE TABLAS

Tabla 01: Tipos de Depósitos

Tabla 02: Ubicación de calicatas

Tabla 03: Ensayos DPL

Tabla 04: Resumen de Densidad In-Situ

Tabla 05: Resumen de Ensayo de Propiedades Índices

Tabla 06: Ensayo Próctor

Tabla 07: Resumen de Ensayos de Compresión Triaxial Consolidado No Drenado (CU)

Tabla 08: Resumen de Ensayos de Compresión Triaxial No Consolidado No Drenado (UU)

Tabla 09: Precipitación Máxima en 24 Horas - Estación Chugur

Tabla 10: Composición química

Tabla 11: Composición mineralógica

Tabla 12: Resultados de potencial neto de neutralización

Tabla 13: Parámetros físicos químicos

Tabla 14: Metales de Zn, Fe, Mn, Cd, As, y Hg lixiviados en el desbroce

Tabla 15: Resultados del Método Determinísticos

Tabla 16: Aceleraciones Máximas para diferentes periodos de retorno

Tabla 17: Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

Tabla 18: Resumen de propiedades de materiales para análisis de estabilidad

Tabla 19: Resultados de los Análisis de Estabilidad

Tabla 20: Precipitación Máxima según las Distribuciones de Probabilidad

Tabla 21: Prueba de Smirnov Kolmogorov

Tabla 22: Resultados de Prueba de Smirnov Kolmogorov

Tabla 23: Coeficiente de Escorrentía Benítez 1980

Tabla 24: Cálculo de Caudales

Tabla 25: Diseño de las cunetas de evacuación, derivación y coronación

Tabla 26: Esquema de Clasificación para Estabilidad de Depósitos

Tabla 27: Clases de Estabilidad y Recomendaciones de Esfuerzo

Tabla 28: Resultados de DSR

Tabla 29: Remoción y Perfilado de DMB

Tabla 30: Propiedades del Geomembrana

Tabla 31: Estimado de Costos

LISTADO DE FIGURAS

Figura 01: Mapa de Zonificación Sísmica

Figura 02: Pendiente de terreno del DMB

Figura 03: Calicata

Figura 04: Calicata

Figura 05: SLIDE – Empleo de las rebanadas para el cálculo del FS

Figura 06: SLIDE – Fuerzas de la Superficie de Rotura

Figura 07: Sección Geotécnica 1 - Falla Circular, Análisis Estático

Figura 08: Sección Geotécnica 1 - Falla Circular, Análisis Seudoestático

Figura 09: Sección Geotécnica 2 - Falla Circular, Análisis Estático

Figura 10: Sección Geotécnica 2 - Falla Circular, Análisis Estático

Figura 11: Dimensionamiento de trincheras de anclaje

Figura 12: Camino existente hacia el DMB

Figura 13: Plataforma del DMB

Figura 14: Trabajos con la retroexcavadora

Figura 15: Estructura del GCL y su propiedad de barrera

Figura 16: Estructura del Geomembrana

Figura 17: Cobertura para el DMB

LISTADO DE PLANOS

Plano 01: Plano geotécnico

Plano 02: Sistema de subdrenaje

Plano 03: Sistema de colección de efluente

Plano 04: Detalles de sistema de subdrenaje

Plano 05: Diseño Final

Plano 06: Cortes

CAPITULO 1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCION

La actividad minera en el Perú tiene un papel muy importante en el desarrollo del país: Generación de empleo, crecimiento en la economía con el canon y las regalías, capacitación de los empleados etc. En noviembre del 2016, el MEM publicó el informe “Cartera Estimada de Proyectos Mineros”. En este informe se nombra a 45 principales proyectos mineros (ampliaciones y exploraciones avanzadas) que, en conjunto, sumarian una inversión de \$ 46,411 millones. Estas posibilidades de inversión, explican la importancia de la actividad minera en la economía nacional.

Generalmente como parte del minado de las operaciones a cielo abierto, es necesario realizar la remoción de toneladas de material estéril para poder explotar el mineral económico. A este material estéril se denomina desbroce. Existe una relación entre el mineral y el material estéril a remover, la cual se denomina Stripping Ratio. Por ejemplo decir que una operación tiene de Stripping Ratio 4:1, quiere decir que por cada 1 TM de mineral, se retira 4 TM de desbroce o desmonte.

En las operaciones de Cielo Abierto, una de las etapas previas es la remoción de esos materiales de desbroce en superficies donde se establecerá el tajo abierto, Pad de Lixiviación, las Pozas, y otros componentes importantes.

Lo excavado en estos componentes se debe de almacenar previa segregación. El material orgánico se acumula en el Depósito de Top Soil, y lo demás, en el Depósito de material de Desbroce (DMB).

Para definir las características del DMB, se debe tener mucha consideración a las condiciones desfavorables que posee el proyecto, para evitar dificultades a corto o largo plazo. Algunas de estas condiciones son:

- **La mineralogía de los materiales de desbroce**, éstos pueden ser generadores de aguas ácidas o no. Para que se genere aguas ácidas, sólo se necesita material con sulfuros (como la pirita, calcopirita, etc.), humedad y oxígeno (aire). Es decir, si tenemos desmontes con sulfuros expuestas al ambiente, se convierte en un potencial generador de aguas ácidas.
- **La pendiente del terreno natural** puede favorecer o no a la disposición final del desbroce. Todos los materiales poseen, como propiedad, el ángulo de fricción o rozamiento interno, la cual indica a cuantos grados como máximo puede encontrarse en reposo.
Es decir, el ángulo del terreno no debe ser mayor al ángulo de fricción de los materiales a depositarse. Caso contrario, se deben de levantar estructuras para contener la carga depositada.
- **El uso del terreno superficial**, para disponer más de 1 millón de metros cúbicos de desbroce, no debe ocupar grandes dimensiones.
Al maximizar el uso de la superficie, se da espacio para la construcción de campamentos, talleres, etc., que darán soporte a la operación. Asimismo, disminuye considerablemente el impacto ambiental.

Por este motivo, lo que se debe hacer es preparar un lugar donde estos materiales se almacenarán, y construir las estructuras necesarias para evitar la generación de las aguas ácidas. Además, garantizar que estos depósitos tengan estabilidad por muchos años.

Nunca se debe de dejar de lado el constante monitoreo una vez estabilizado el depósito, ya que éste constante monitoreo servirá como un indicador de que nuestro proyecto está cumpliendo con todas sus funciones.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Lograr un diseño óptimo para el Depósito de Material de Desbroce (DMB) garantizando su estabilización permanente en condiciones desfavorables del lugar.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los criterios de diseño para garantizar la estabilidad física e hidrológica del DMB.
- Evaluar la mejor ubicación del DMB tomando en cuenta la información de las calicatas y DPL (Ensayo de Penetración Dinámica Ligera) realizado en campo.
- Realizar una proyección de intensidad máxima de precipitación apoyado por distribuciones de probabilidad para el diseño de los canales de escorrentía.
- Determinar mediante los ensayos químicos estáticos y cinéticos su potencial neto de neutralización del material de desbroce para su posterior manejo e impermeabilización.
- Maximizar la capacidad del DMB eligiendo el diseño óptimo manteniendo su estabilidad geoquímica y física con un periodo de retorno de 500 años.

- Proponer la mejor cobertura haciendo uso de geosintéticos para disminuir el contacto del agua con el desbroce y, al mismo tiempo, mantener la estabilidad física.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

El Depósito de Materiales de Desbroce (DMB) se encuentra dentro del grupo de “Instalaciones para el Manejo de Residuos” según la “Guía Para la Elaboración de Planes de Cierre de Minas - 2006”. Dentro de este grupo, están los botaderos y depósitos de relaves.

El DMB se define como acumulación de desbroce procedente de los trabajos de preparación de la superficie de cimentación. El topsoil (suelo orgánico) no se considera desbroce y, por ende, se apilará en otro tipo de depósito.

2.1 TIPOS DE DEPÓSITOS

Existen varios tipos de depósitos según su forma de construcción que pueden influir en su estabilidad física y su rendimiento, la cual se nombra en la Tabla 01.

2.2 FACTORES DE ESTABILIDAD DE DEPÓSITOS

Para mantener un depósito estabilizado, se debe tomar en cuenta muchos factores que actúan en conjunto. Estos factores se nombran a continuación:

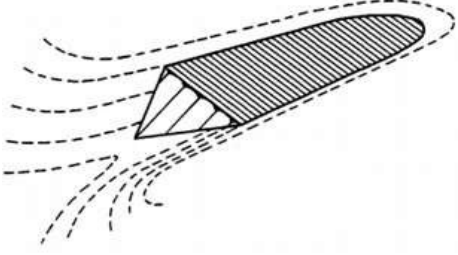
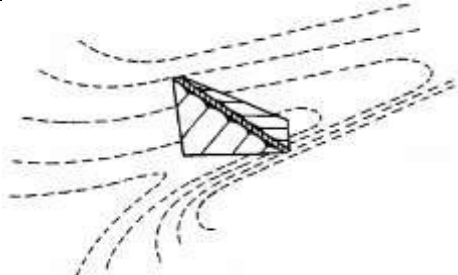
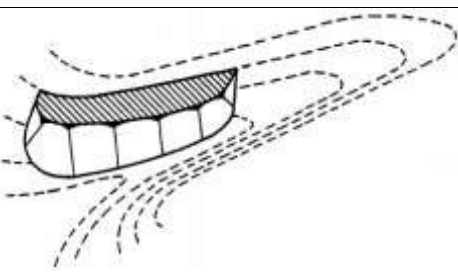
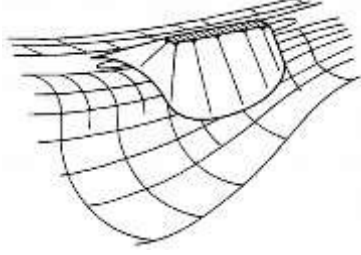
2.2.1 CONFIGURACIÓN DEL DEPÓSITO

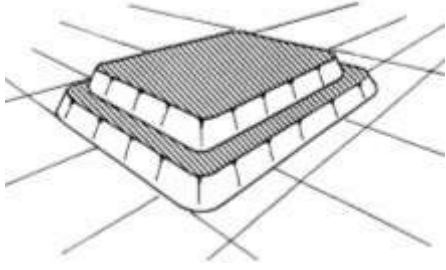
Se basa en parámetros geométricos básicos que posee todo componente.

- **ALTURA:** Se define como la distancia vertical desde la cresta del depósito a la superficie del terreno.
- **VOLUMEN:** Es el total de material que se acumulará dentro del depósito. Se expresan en metros cúbicos.

- **ÁNGULO DE REPOSO:** Es el ángulo en el cual los materiales apilados se mantienen estables en el depósito. El ángulo de reposo depende del tipo y granulometría de material.

TABLA 01: TIPOS DE DEPÓSITOS

TIPO	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
Relleno en Valle	El valle puede o no estar completamente lleno. Durante la descarga del relleno, se debe realizar de forma gradual para evitar la retención de agua. Si en el valle discurre agua, se debe hacer uso de alcantarillas y/o subdrenaje.	
Relleno a través de Valle	Es una variación del relleno de valle. El relleno se ubica de lado a lado del valle. La parte superior del valle, como no está relleno, puede ocurrir problemas con el apresamiento del agua.	
Relleno en laderas o por volteo	Se construyen en terrenos con pendientes variables y que no bloquee el paso del agua. Generalmente la pendiente es constante en toda su longitud. La base del depósito puede ser en terreno plano o inclinado.	
Relleno por volteo con muros	Es una variante del tipo relleno en laderas en donde se forman taludes en ambos lados del relleno.	

Relleno en terrazas	Se refiere en la acumulación en superficies planas o poca pendiente.	
Otros Rellenos	Cuando se realizan con diques o terraplenes más especializados o que incorporan más de dos tipos de rellenos.	

Fuente: “*Investigation and Design of Mine Dumps*”- PAE Ltd, 1991

2.2.2 ÁNGULO Y CIMENTACIÓN DEL TERRENO: FACTOR DE SEGURIDAD

La estabilidad del depósito puede verse afectado si no se toma en cuenta estos dos factores. Para calcular el grado de estabilidad del depósito, se hace uso del Factor de Seguridad.

El factor de Seguridad es la relación entre el esfuerzo máximo de un sistema y el esfuerzo real esperado. Si las fuerzas disponibles para resistir el movimiento son mayores que las fuerzas que desequilibran el talud entonces se considerará estable.

$$FS = \frac{\text{Fuerzas equilibradoras}}{\text{Fuerzas desequilibradoras}} \geq 1$$

2.2.3 TIPOS DE TERRENO DE CIMENTACIÓN

Las condiciones del terreno de cimentación son generalmente reconocidas como un factor clave en la estabilidad final. Las condiciones de la fundación pobres son citadas como la causa más frecuente de la inestabilidad en aquellos depósitos. Se puede considerar a tres categorías diferentes:

- **Competente:** roca altamente competente o suelo de igual o mayor resistencia que los materiales de relleno.
- **Intermedio:** material intermedio que consolidado puede ganar fuerza con el tiempo, pero que puede ceder por pérdida de esfuerzo.

- **Débil:** material débil que no se puede cargar con seguridad más allá de un nivel límite de tensión, y que no gana fuerza a un ritmo significativo por consolidación. Esto es frecuente en suelos de cimentación de arcilla.

2.2.4 MATERIAL DE RELLENO

Las propiedades de los materiales de relleno, como la densidad, granulometría, cohesión entre otros, son reconocidas como factores clave en mantener la estabilidad del depósito. Los materiales más favorables serán aquellas compuestas de roca gruesa dura, durable, con poco o nada de finos. Estos materiales de este tipo son comúnmente (pero no exclusivamente) asociados a la minera metálica. Los materiales menos favorables serán las rocas suaves, degradables, por ejemplo lodolitas o pizarras, que se asocian comúnmente a minas del carbón o no metálica.

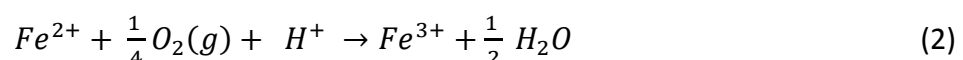
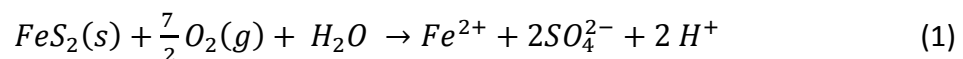
Otra característica del material de relleno es su mineralogía. Conociendo su composición de los materiales, podemos elegir la mejor alternativa de cierre para disminuir la generación de aguas ácidas.

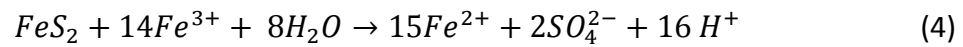
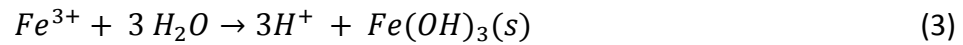
2.2.4.1 AGUAS ÁCIDAS: GENERACIÓN

Para la generación de las aguas ácidas se requiere que haya una interrelación entre estos tres elementos: sulfuros, oxígeno y agua.

Los minerales con sulfuros, al tener contacto con el oxígeno, comienzan una serie de complejas reacciones químicas, dando como resultado la oxidación de estos sulfuros. Los productos de esta reacción son metales sueltos en forma de cationes, sulfato y acidez.

La generación de las aguas ácidas se resume en estas cuatro ecuaciones químicas secuenciales:





Ecuaciones tomadas de: (Skousen et al., 1998; Nordstron y Alpers, 1999; Mills, 1999)

El oxígeno actúa, en los sulfuros, como agente oxidante; como producto de esta oxidación se tiene Fe^{2+} , SO_4^{2-} e H^+ . Esto trae como consecuencia un incremento de sólidos disueltos y un aumento gradual de la acidez.

El Fe^{2+} , en presencia del oxígeno, se oxida y pasa a Fe^{3+} , mediante la reacción 2.

2.2.5 CONDICIONES CLIMÁTICAS Y NIVEL FREÁTICO

Las condiciones climáticas, especialmente la precipitación en forma de lluvia y nieve, pueden tener una influencia directa sobre las condiciones piezométricas del depósito. El estado crítico puede desarrollar si se genera una superficie freática dentro del relleno y si la pendiente está o se acerca al ángulo de reposo de los materiales. El agua puede entrar en un depósito por infiltración directa (lluvia, granizo, etc.), por las caídas de agua según la topografía de la superficie, o como infiltración de las aguas subterráneas. Es por ese motivo, que se debe estimar la entrada de agua y condiciones piezométricas dentro del depósito, basado en información hidrogeológico e hidrológica obtenido durante los estudios de campo y estimados. La incorporación de nieve o granizo en el depósito, puede generar la formación de masas de agua pudiendo desarrollar inestabilidad debido a las presiones del agua.

2.2.5.1 PRECIPITACIONES

Es el resultado del paso de estado gaseoso a líquido del agua (condensación) que se deposita en la superficie de la Tierra. En algunos

casos, mientras el agua desciende de la atmosfera, puede pasar al estado sólido en forma de nieve o granizo.

Mantener un monitoreo y estudio de las precipitaciones es de suma importancia para controlar y cuantificar la cantidad de agua que ingresa a un territorio determinado.

La Intensidad de Precipitación es la medida de agua que cae en un área por unidad de tiempo. Se define también como la velocidad que posee la lluvia para acumularse en un área determinada y se mide en mm/hr. Los pluviómetros son los encargados de realizar esta medición.

En el Perú, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) cuenta con estaciones meteorológicas por todo el territorio nacional.

2.2.6 SISMICIDAD Y ESTABILIDAD DINÁMICA

La sismicidad de la zona es un factor importante en la estabilidad de depósitos de mina, ya que los sismos influyen en los posibles efectos que pudiesen ocurrir. El impacto más significativo a la estabilidad, debido a los movimientos sísmicos, es la licuefacción de suelos de cimentación; sin embargo, materiales de relleno de grano fino saturado pueden, también, estar sujeto a licuefacción. También es concebible que los movimientos de tierra inducidos por voladura cercana asociada con la minería podrían afectar estabilidad del depósito.

Existe un parámetro para evaluar y controlar la estabilidad dinámica en las estructuras, las cual se nombra a continuación.

2.2.6.1 ACELERACIÓN SÍSMICA DE DISEÑO

Es una medida usada en movimientos sísmicos que trata en una medición directa de las aceleraciones que sufre la corteza del suelo. La

unidad de esta medida es la intensidad de la gravedad promedio ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

La aceleración sísmica es la medida más utilizada en obras de ingeniería, como en presas, centrales hidroeléctricas, edificaciones, etc.

Con este dato, se puede realizar obras que resistan eventos sísmicos y que garantice que se minimizará pérdidas económicas y de vidas humanas.

En el Perú, existe el Mapa de Zonificación Sísmica propuesto en la Norma de Diseño Sismo resistente E030, del Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), donde se puede determinar en qué área se encuentra comprendido un proyecto. En el caso estudiado, éste se encuentra comprendida en la Zona 3, correspondiéndole una de alta sismicidad. Ver Figura 1.0

Figura 01: Mapa de Zonificación Sísmica



Para la evaluación del peligro sísmico, se trabaja con dos métodos:

MÉTODO DETERMINÍSTICO

El análisis de peligro sísmico determinísticos, consiste en relacionar eventos sísmicos a fallas activas o potencialmente activas para determinar sus efectos epicentrales y su atenuación al lugar, con los cuales se genera un evento sísmico extremo en la zona de la fuente que se encuentra a la menor distancia del lugar de análisis. Mediante este método, se calculará la aceleración máxima del diseño.

MÉTODO PROBABILÍSTICO

El análisis de peligro sísmico probabilístico permite estimar adecuadamente la aceleración máxima que tiene una probabilidad dada de ser superada en un periodo determinado de tiempo (periodo de retorno). La aceleración obtenida no proviene de un sismo específico si no de un efecto combinado de todas las fuentes sismogénicas.

CAPITULO 3. EVALUACIONES PRELIMINARES PARA EL DMB

3.1 EVALUACIÓN GEOLÓGICA

3.1.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuentra ubicado al norte del departamento de Cajamarca, a una altitud promedio de 3 875 msnm. La fisiografía del área muestra zonas con relieve variado, que comprende superficies accidentadas, zonas de pendiente media a alta y zonas con relieve suave a ondulado, conformando en su totalidad un relieve típico de erosión glacial y periglacial manifestada por la presencia de valles y lagunas de dimensiones variables.

Regionalmente la litología comprende principalmente rocas de origen sedimentario y vulcano-sedimentarias correspondientes a la cuenca Cajamarca, la secuencia sedimentaria comprende a las formaciones geológicas integrantes del Grupo Gollarisquisga, de origen sílico-clásticas del Cretáceo inferior, seguido de una secuencia pelítico-carbonatada. Durante el Cenozoico se desarrolla en toda la región actividad de arco volcánico por lo que se presentan en la zona vulcanitas de ambiente continental correspondientes al Grupo Calipuy integrado por las formaciones Llama y Porculla, sobre estas formaciones yace en discordancia la secuencia piroclástica denominada Volcánicos Huambos. El Cuaternario comprende depósitos de origen glacial, y sedimentos recientes poco consolidados fluvioglacial, coluvial y aluvial.

3.1.2 GEOLOGÍA LOCAL

3.1.2.1 GEOMORFOLOGÍA

Su morfología actual es el resultado de la evolución geológico estructural de esta parte de la cordillera occidental, aunado a los procesos de erosión y deposición ocurridos hasta la actualidad, en la que destaca por

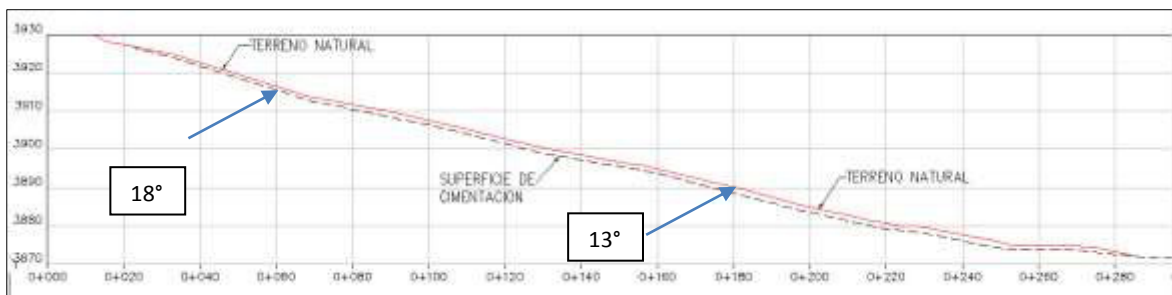
su intensidad la actividad glaciaria cuya impronta se evidencia en toda el área; habiéndose distinguido las siguientes geoformas:

Cadena de Cerros: Son conformadas por el alineamiento de rumbo SO-NE cuyas cumbres son coronadas por afloramientos rocosos que configuran crestas abruptas y accidentadas. Presentan laderas de pendiente moderada a suave con una cobertura reciente de espesor variado.

En el departamento de Cajamarca, el 81.48% de territorio corresponde a la geomorfología montañosa. Específicamente, la forma se denomina “Ladera de montaña empinada”. Estas unidades se localizan de manera aleatoria en toda la superficie de Cajamarca. En estos lugares no se realiza actividades agrícolas, pero si ganaderas (Borñon, 2010, p.30).

En el área donde se asienta el DMB tiene una pendiente constante de 13° a 18° en toda su extensión. En algunas zonas, se presencia el afloramiento de rocas.

Figura 02: Pendiente de terreno del DMB



Valle Glaciario: En el fondo del valle se emplaza un extenso bofedal donde destacan pequeños cuerpos de agua distribuidos de manera escalonada. Los materiales que se exponen en las laderas y colinas, están constituidos principalmente por suelos residuales, morrénicos y coluviales, con pequeños afloramientos rocosos.

Circos Glaciares: Morfología que se aprecia en las cabeceras de las quebradas que disectan el área de estudio. La erosión en retroceso configura desfiladeros, constituido en el área por el alineamiento de cerros y el paso entre las quebradas, zona del tajo y Depósito de desmontes.

Laderas Rocosas: Está conformado por afloramientos rocosos de andesitas y piroclastos con una escasa a nula cobertura de suelo orgánico.

3.1.2.2 ESTRATIGRAFÍA

La columna estratigráfica del área del proyecto comprende principalmente secuencias volcánicas del grupo Calipuy de edad Miocena, que sobreyacen hacia el extremo noreste.

En general el Grupo Calipuy es conformado por conglomerados con clastos de naturaleza volcánica y sedimentaria, los cuales se encuentran subredondeados, luego en la parte media se encuentran mayormente lavas de composición ácida a intermedia, con intercalaciones de limos y lutitas rojas, la parte superior es compuesta por niveles de tobas con intercalaciones de lavas. Coronando esta secuencia se presentan tobas ignimbríticas de los volcánicos Huambos.

3.1.2.3 GEODINÁMICA EXTERNA

En el área de interés no se ha observado mayores evidencias que indiquen la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa, lo cual es favorecido por las características morfológicas descritas, así como por su

ubicación adyacente a la divisoria de aguas, con una mínima zona de aporte en casos de escorrentía.

3.2 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE CAMPO Y LABORATORIO

Las investigaciones geotécnicas de campo y los ensayos de laboratorio, se desarrollaron con la finalidad de obtener la caracterización geotécnica del área del DMB. Estas investigaciones consistieron en el mapeo geológico-geotécnico de superficie, ejecución de calicatas, ensayos de densidad y la toma de muestras representativas para ensayos de laboratorio.

3.2.1 MAPEO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

El mapeo geológico-geotécnico de superficie se efectuó mediante el método de afloramientos y la revisión de la información geológica existente del proyecto. En el mapeo geológico de superficie, se registraron directamente la litología, delimitación de unidades geológicas-geotécnicas y estructuras geológicas

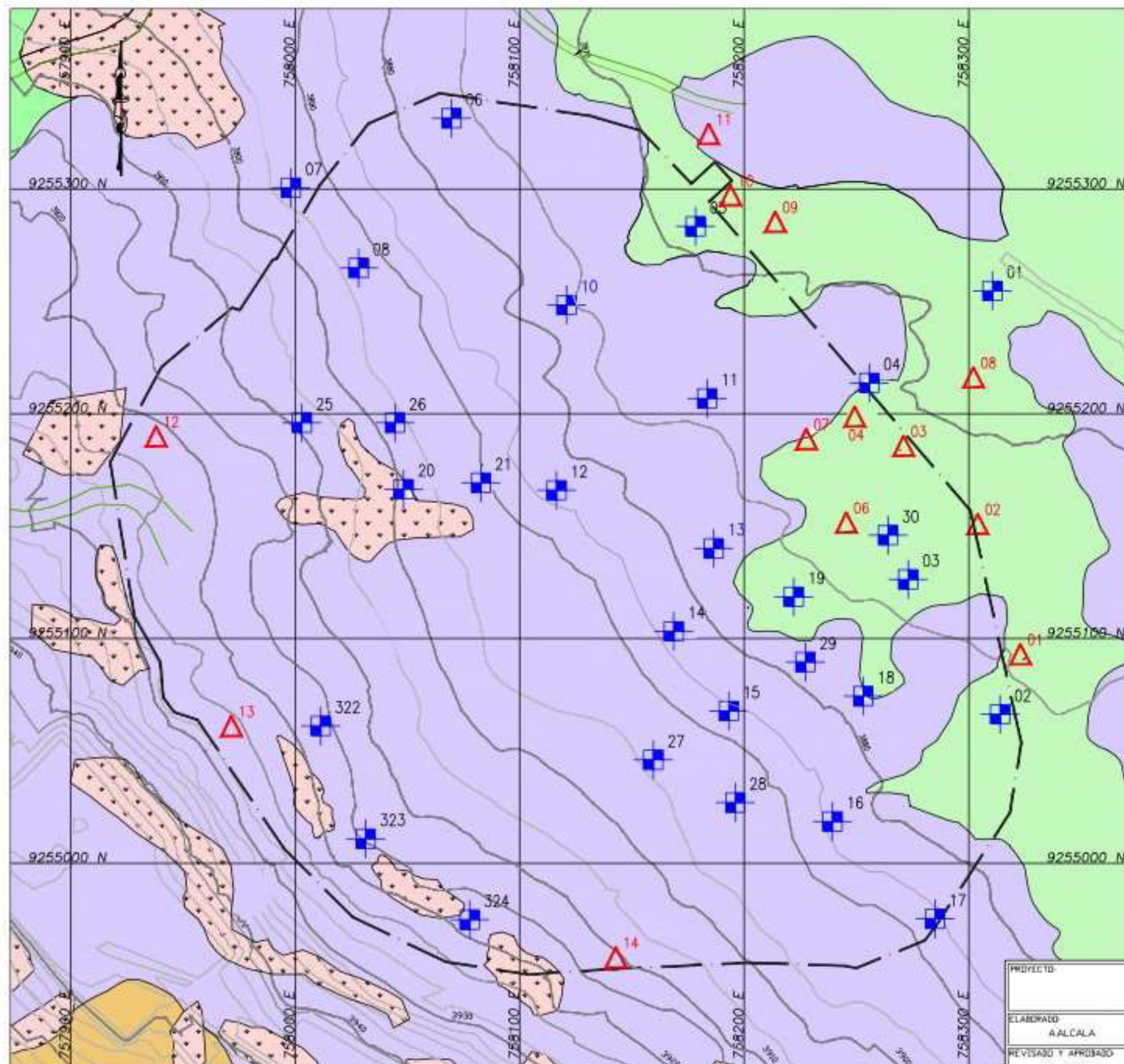
Se realizó el mapeo geológico-geotécnico detallado del área de estudio y de las áreas circundantes, con el fin de identificar los rasgos geológicos y unidades geotécnicas presentes. *Ver Plano 01, Plano Geotécnico.*

Los trabajos consistieron en calicatas y sondajes de penetración ligera (DPL) Esto incluyó: la ejecución de calicatas, ensayo densidad de campo in situ y revisión del mapeo geológico-geotécnico.

3.2.2 CALICATAS

Con la finalidad de conocer las características geotécnicas del área del DMB, se desarrolló en el campo la excavación de 30 calicatas durante un año y medio; en cada una de las calicatas se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de

suelos encontrados. Asimismo, se tomaron muestras disturbadas, las cuales fueron identificadas y almacenadas en bolsas plásticas con la finalidad de efectuar ensayos posteriores de caracterización física y mecánica en el laboratorio geotécnico.



LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL
	LIMITE DE DEPÓSITO
	ACCESO EXISTENTE
	CALICATAS
	ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA UGERA (DPL)
	UNIDAD GEOTECNICA I (BOFEDAL Y TURBA)
	UNIDAD GEOTECNICA II (DEPOSITO RESIDUAL)
	UNIDAD GEOTECNICA III (BASAMENTO ROCOSO)

COORDENADAS DE UBICACION DE CALICATAS

CALICATA	NORTE	ESTE
CA_DMI-01	9,255,254.60	758310.50
CA_DMI-02	9255065.00	758314.20
CA_DMI-03	9255124.00	758266.50
CA_DMI-04	9255213.70	758255.70
CA_DMI-05	9255284.70	758181.30
CA_DMI-06	9255333.60	758077.60
CA_DMI-07	9255301.60	757999.40
CA_DMI-08	9255263.20	758043.00
CA_DMI-09	9255220.90	758053.80
CA_DMI-10	9255246.90	758105.50
CA_DMI-11	9255205.10	758159.80
CA_DMI-12	9255102.80	758096.00
CA_DMI-13	9255136.30	758163.90
CA_DMI-14	9255102.80	758160.50
CA_DMI-15	9288266.80	758188.20
CA_DMI-16	9255020.50	758233.10
CA_DMI-17	9254975.20	758284.90
CA_DMI-18	9255067.50	758252.60
CA_DMI-19	9255113.80	7582100
CA_DMI-20	9255118.00	757939.40
CA_DMI-21	9255119.0	757975.40
CA_DMI-22	9255071.30	758004.90
CA_DMI-23	9255016.70	758045.10
CA_DMI-24	9254977.50	758102.40
CA_DMI-25	9255196.00	758003.00
CA_DMI-26	9255223.00	758044.00
CA_DMI-27	9255046.00	758159.00
CA_DMI-28	9255027.00	758196.00
CA_DMI-29	9255081.00	758230.00
CA_DMI-30	9255746.00	758264.00



PROYECTO			
TESIS			
ELABORADO	DATUM	DPTD	CAJAMARCA
A. ALCALA	VGS R4 / 175		
REVISADO Y APROBADO	FECHA	ESCALA	PROV.
A. ARROYO	JUN/2015	1 / 2000	HUALGAYOC
PLANO GEOTECNICO		DIST.	HUALGAYOC

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS	
TITULO:	PLANO GEOTECNICO
PLANO N°:	01

Tabla 02: Ubicación de calicatas

Calicata	Coordenadas UTM		Nivel agua (m)	Suelo orgánico (m)	Df (m)	Nivel roca (m)	Profundidad total (m)
	Norte	Este					
CA_DMB-01	9,255,254.6	758,310.5	2.20	0.70	2.60	2.60	2.60
CA_DMB-02	9,255,065.0	758,314.2	0.80	0.80	2.50	2.40	2.40
CA_DMB-03	9,255,124.0	758,266.5	0.60	0.80	2.00	2.00	2.00
CA_DMB-04	9,255,213.7	758,255.7	NE	0.30	1.60	1.40	1.60
CA_DMB-05	9,255,284.7	758,181.3	1.00	0.20	ND	NE	4.30
CA_DMB-06	9,255,333.6	758,077.6	NE	0.60	1.60	NE	2.30
CA_DMB-07	9,255,301.6	757,999.4	2.40	0.60	0.90	NE	2.50
CA_DMB-08	9,255,263.2	758,043.0	NE	0.60	1.00	1.30	1.30
CA_DMB-09	9,255,220.9	758,053.8	NE	0.80	2.00	3.80	3.80
CA_DMB-10	9,255,246.9	758,102.5	NE	0.60	0.70	0.90	0.90
CA_DMB-11	9,255,205.1	758,159.8	NE	0.30	1.50	NE	2.00
CA_DMB-12	9,255,162.8	758,096.0	NE	0.40	0.70	NE	1.60
CA_DMB-13	9,255,136.3	758,163.9	NE	0.60	4.20	NE	4.50
CA_DMB-14	9,255,102.8	758,160.5	NE	0.50	1.70	NE	3.40
CA_DMB-15	9,255,066.8	758,188.2	NE	0.30	0.80	2.40	2.40
CA_DMB-16	9,255,020.5	758,233.1	NE	0.60	3.80	NE	4.00
CA_DMB-17	9,254,975.2	758,284.9	NE	0.50	5.30	NE	5.50
CA_DMB-18	9,255,067.5	758,252.6	2.80	0.60	3.70	3.70	3.70
CA_DMB-19	9,255,113.8	758,210.0	0.80	0.80	1.00	1.10	1.10
CA_DMB-20	9,255,118.0	757,939.4	NE	0.60	1.90	2.50	2.50
CA_DMB-21	9,255,119.0	757,975.4	NE	0.40	1.70	NE	2.10
CA_DMB-22	9,255,071.3	758,004.9	NE	0.80	1.80	NE	3.80
CA_DMB-23	9,255,016.7	758,045.1	NE	0.60	5.00	NE	5.50
CA_DMB-24	9,254,977.5	758,102.4	NE	0.50	2.00	NE	3.60
CA_DMB-25	9,255,196.0	758,003.0	NE	NE	ND	NE	4.50
CA_DMB-26	9255223	758,044.0	NE	NE	ND	NE	4.50
CA_DMB-27	9,255,046.0	758,159.0	NE	NE	ND	NE	4.50
CA_DMB-28	9,255,027.0	758,196.0	NE	NE	ND	NE	4.50
CA_DMB-29	9,255,081.0	758,230.0	NE	NE	ND	NE	4.50
CA_DMB-30	9,255,146.0	758,264.0	NE	NE	ND	NE	4.50

Abreviaturas:

Df: Nivel de fundación propuesta

NE: No encontrada

ND: No determinada

Ejemplo de Registro de Calicatas:










 UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS			Ubicación : Depósito de material : Inadecuado Fecha de excavación : 26/01/2014 Fecha de registro : 26/01/2014 Método de excavación : Mecánico Equipo de excavación : CAT 426C Dimensión calicata : 1.50 m. x 5.00 m. Registrado por : A.A.P. Condición superficial : Ladera de pendiente baja		CALICATA CA_DMI-18 (Página 1 de 1)		
TESIS					Sist. de coordenadas : WGS 84 Norte : 9,255,067.5 Este : 755,252.6 Elevación (manm) : 3,879.0 Nivel freático (m) : 2.50 Prof. calicata (m) : 3.70		
Proyecto Tesis							
PROFUNDIDAD (m)	SUCS	GRÁFICO	CONDICIÓN DE MUESTRA		MUESTRA	CÓDIGO MUESTRA	COMENTARIOS
			<input checked="" type="checkbox"/> DISTURBADA <input type="checkbox"/> EN BLOQUE	DESCRIPCIÓN			
0	OL		<input type="checkbox"/>	Suelo orgánico, limo, plasticidad baja o nula, blando a firme, húmedo, negro.			Presencia de raíces y vegetación superficial densa.
1			<input type="checkbox"/>	Arcilla arenosa, plasticidad media, blanda a rígida, muy húmeda, pardo con tonalidades blanquecinas. Grava: 5.5% Arena: 37.1% Finos: 54.1%	<input checked="" type="checkbox"/>	M - 1	Paredes inestables. Nivel freático a 2.50 m. Df = 3.70 m.
2	CL						
3							
4							Rechazo a la excavación (basamento rocoso).
5							
6							
7							
8							Notas: Df = Profundidad de fundación propuesta.

Figura 03 : Calicatas

 UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS			Ubicación : Depósito de material : Inadecuado Fecha de excavación : 27/01/2014 Fecha de registro : 27/01/2014 Método de excavación : Mecánico Equipo de excavación : CAT 426C Dimensión calicata : 1.70 m. x 4.70 m. Registrado por : A.A.P. Condición superficial : Ladera de pendiente alta		CALICATA CA_DMI-21 (Página 1 de 1) Sist. de coordenadas : WGS 84 Norte : 9,255,119.0 Este : 757,975.4 Elevación (msnm) : 3,916.0 Nivel freático (m) : No encontrado Prof. calicata (m) : 2.10		
TESIS							
Proyecto Tesis							
PROFUNDIDAD (m)	SUCS	GRÁFICO	CONDICIÓN DE MUESTRA		MUESTRA	CÓDIGO MUESTRA	COMENTARIOS
			<input checked="" type="checkbox"/> DISTURBADA <input type="checkbox"/> EN BLOQUE	DESCRIPCIÓN			
0	OL			Suelo orgánico, limo, plasticidad baja o nula, blanda a firme, húmedo, negro.			Presencia de raíces y vegetación superficial densa. Df = 1.70 m.
	GM			Grava limosa con arena, plasticidad baja o nula, suelta, húmeda, pardo, estructura homogénea. Grava: 60.0% Arena: 10.0% Finos: 10.0%			
1	CL - ML			Arcilla limosa con arena y grava, plasticidad media, blanda a firme, húmeda, pardo amarillento, estructura homogénea.			
	CL - ML		<input checked="" type="checkbox"/>	Arcilla limosa con arena, plasticidad media, rígida, húmeda, marrón claro, estructura homogénea.		M - 1	
2	CH			Arcilla, plasticidad alta, dura, ligeramente húmeda, celeste, estructura homogénea.			
3							Rechazo a la excavación (material muy duro).
4							
5							
6							

Notas:
Df = Profundidad de fundación propuesta.

Figura 04 : Calicata

3.2.3 ENSAYOS DE CAMPO

3.2.3.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL)

El ensayo de penetración dinámica ligera o DPL (siglas en inglés) consiste en auscultar los suelos a través de una punta cónica de 90º unida a unas varillas de 1.0 m de largo y 35.6 mm de diámetro, a través del impacto de un martillo de 10 kg de peso, en el que se mide el número de golpes necesarios para penetrar cada 10 cm de profundidad (N10). Se utilizó este método de auscultación debido a la imposibilidad de la prospección directa a través de calicatas por la presencia de bofedales profundos.

Estos ensayos se nombran en la Tabla 02:

Tabla 03: Ensayos DPL

DPL	COORDENADAS UTM		Df (m)	PROF. TOTAL (m)
	NORTE	ESTE		
DPL_DMB-01	9,255,093.0	758,323.0	2.10	2.10
DPL_DMB-02	9,255,151.0	758,304.0	1.50	1.50
DPL_DMB-03	9,255,180.0	758,274.0	0.70	0.70
DPL_DMB-04	9,255,198.0	758,249.0	1.00	1.00
DPL_DMB-05	9,255,194.0	758,249.0	1.50	1.50
DPL_DMB-06	9,255,152.0	758,244.0	2.40	2.40
DPL_DMB-07	9,255,186.0	758,227.0	2.70	2.70
DPL_DMB-08	9,255,216.0	758,302.0	3.60	3.60
DPL_DMB-09	9,255,285.0	758,214.0	3.00	3.00
DPL_DMB-10	9,255,297.0	758,194.0	4.10	4.10
DPL_DMB-11	9,255,322.0	758,184.0	2.70	2.70
DPL_DMB-12	9,255,145.0	758,124.0	1.00	1.00
DPL_DMB-13	9,255,059.0	757,971.0	0.90	0.90
DPL_DMB-14	9,254,957.0	758,143.0	1.30	1.30

3.2.4 ENSAYOS DE DENSIDAD IN-SITU

Durante la investigación geotécnica de campo se realizaron ensayos in situ mediante el método de cono de arena, con la finalidad de determinar la densidad. En la tabla 04 se muestra un resumen de los datos obtenidos:

Tabla 04: Resumen de Densidad IN-SITU

Calicata	Clasificación SUCS	Profundidad (m)	Contenido De Humedad (%)	Densidad Seca (Gr/Cm ³)
CA_DMB-25	GC	1.50	8.2	1.68
CA_DMB -28	GC	1.80	14.2	1.45
CA_DMB-29	GC	0.50	10.6	1.96
CA_DMB-29	GC-GM	1.50	16.4	1.43
CA_DMB-30	GC	1.50	8.5	1.56

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

3.2.5 ENSAYOS DE LABORATORIO

Durante el desarrollo de la exploración geotécnica de campo se obtuvieron muestras representativas de las calicatas y perforaciones. Adicionalmente, se obtuvieron muestras del material arcilloso que será utilizado como suelo de baja permeabilidad, material para relleno estructural y para grava de drenaje.

A partir de las muestras de suelo extraídas de las calicatas se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Ensayos de Propiedades Índices.
- Análisis Granulométrico.
- Clasificación SUCS.
- Límites de Atterberg
- Ensayo Próctor Estándar (ASTM D698),
- Ensayo Triaxial Consolidado No Drenado - CU (ASTM D 4767)

3.2.6 ENSAYOS DE PROPIEDADES ÍNDICES

En las muestras obtenidas en la exploración de campo, se llevaron a cabo ensayos estándar de laboratorio con fines de identificación y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Las propiedades

índices de los suelos ensayados se resumen en la Tabla 04 en términos de granulometría, límite de plasticidad y contenido de humedad.

Las normas correspondientes que rigen estos ensayos para clasificar muestras de suelo son:

- Análisis granulométrico por tamizado e hidrómetro, NTP 339.128 / ASTM D-422.
- Límite líquido y límite plástico, NTP 339.129 / ASTM D-4318.
- Contenido de humedad, NTP 339.127 / ASTM D-2216.

Tabla 05: Resumen de Ensayos de Propiedades Índices

Calicata	Prof. (m)	Clasif. SUCS	Granulometría			LL (%)	IP (%)	CH (%)
			Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)			
CA_DMB-25	4 - 4.5	GC	41.3	32.3	26.3	36	15	12.6
	1.5	GC	-	-	-	-	-	8.2
CA_DMB-27	0.1 - 4.5	GC	49.2	32.5	18.3	29	9	11.2
CA_DMB-28	1.8	-	-	-	-	-	-	14.2
CA_DMB-29	0.5	-	-	-	-	-	-	10.6
CA_DMB-29	1.5	-	-	-	-	-	-	16.4
CA_DMB-30	3.4 - 4.5	GC	55.8	26.9	17.3	30	12	9.7
CA_DMB-30	1.5	GC	-	-	-	-	-	8.5
CA_DMB-25+27+29+30	-	GC	53	30.4	16.7	34	17	8.7

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

LL: Límite Líquido; IP: Índice Plástico; Prof.: Profundidad

C. H.: Contenido de Humedad

NP: No presenta

3.2.7 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR)

La variación de la densidad seca con el contenido de humedad fue determinada para el suelo de baja permeabilidad. Se siguió los procedimientos de la norma ASTM D-698, Próctor estándar y los resultados de estos ensayos se presentan en la siguiente Tabla 06:

Tabla 06: Ensayo Próctor

Lugar	Calicata	Prof. (m)	Ensayo Proctor
-------	----------	-----------	----------------

			MDS (gr/cm ³)	OCH (%)
Depósito de materiales de desbroce	CA_DMB-18	0.60-3.70	1.730	16.7

MDS: Máxima densidad seca

OCH: Óptimo contenido de humedad

3.2.8 ENSAYOS DE RESISTENCIA CORTANTE TRIAXIAL

Como parte del presente estudio se realizaron ensayos triaxiales, en condición consolidada no drenada (CU) con medición de presión de poros y en condición saturada y en condición no consolidado no drenado (UU).

Los ensayos fueron realizados en muestras remoldeadas en algunos casos al 95% de la MDS del ensayo Proctor Estándar y otros a la densidad obtenida en los ensayos de cono de arena. El objetivo de estos ensayos es obtener parámetros de resistencia de la cimentación.

Tabla 07

Resumen de Ensayos de Compresión Triaxial Consolidado No Drenado (CU)

Calicata	Clasif. SUCS	Dens. Seca (g/m ³)	Cont. Hum. (%)	Esfuerzos Efectivos		Esfuerzos Totales	
				C' (kPa)	φ' (°)	C' (KPa)	φ' (°)
CA_DMB-25+27+29+30	GC	1.56	10.00	0.00	35.80	1.00	17.10
CA_DMB-08	CL	1.68	22.70	20.00	27.90	29.00	14.40
CA_DMB-15	GC	1.46	13.20	0.00	34.70	0.00	15.00
CA_DMB-18	SC	1.45	11.30	0.00	34.10	0.00	14.50
CA_DMB-22	OH	0.66	65.80	0.00	41.60	3.00	19.50

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Dens. Seca: Densidad seca

Cont. Hum.: Contenido de humedad

φ: Ángulo de fricción

C: Cohesión

Tabla 08

Resumen de Ensayos de Compresión Triaxial No Consolidado No Drenado (UU)

Calicata	Clasif. SUCS	Dens. Seca (g/m ³)	Cont. Hum. (%)	Parámetros De Resistencia	
				CU (kPa)	φ' (°)
CA_DMB-08	CL	1.10	19	15	8.7

CA_DMB-15	GC	1.46	13.0	10	17.9
CA_DMB-18	SC	1.44	11.20	15	16.3
CA_DMB-22	OH	0.66	68.20	15	7.2

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Dens. Seca: Densidad seca

Cont. Hum.: Contenido de humedad

ϕ : Ángulo de fricción

3.2.9 UNIDADES GEOTECNICAS

A partir de los resultados de las investigaciones geotécnicas efectuadas en el área de estudio se definieron las siguientes unidades geotécnicas, el nivel freático y de cimentación.

3.2.9.1 BOFEDAL Y TURBA (UNIDAD GEOTÉCNICA I)

Conformado por suelos orgánicos saturados y turba, de considerable espesor. Estos depósitos se encuentran en una condición muy húmeda a saturada.

Estos suelos se caracterizan por presentar áreas de baja pendiente que no permiten un drenaje superficial adecuado. Esta unidad es inadecuada para propósitos de cimentación y relleno, por lo que durante la construcción del depósito de material de desbroce deberán ser removidas en su totalidad, hasta encontrar material más competente.

De acuerdo a las calicatas excavadas y a los ensayos DPL, se estima que la potencia de los bofedales varía entre 0.3 a 1.7 m, que corresponde a los límites del bofedal con los depósitos residuales y a la potencia del bofedal en el centro de la quebrada, respectivamente.

3.2.9.2 DEPÓSITO RESIDUAL (UNIDAD GEOTÉCNICA II)

Esta unidad está compuesta íntegramente por suelos residuales. La plasticidad de estos depósitos varía de baja a alta, siendo su naturaleza producto de la meteorización in situ de las andesitas y tobas que intercalan en el basamento rocoso.

Esta unidad geotécnica es adecuada para nivel de desplante de cimentación dependiendo del grado de consistencia o compacidad en el que se encuentre siendo necesario un tratamiento de su techo (limpieza).

Los taludes de corte deberán efectuarse empleando bancos de corte de 4m de altura como máximo, y taludes intermedios desde 1H: 1.5V hasta 1H: 2.5V.

3.2.9.3 BASAMENTO ROCOSO (UNIDAD GEOTÉCNICA III)

Durante la investigación se determinó la presencia del basamento rocoso a través del mapeo de afloramientos, y registros de calicatas y perforaciones. De esta manera se determinó que esta unidad geotécnica se presenta superficialmente al sur-oeste del depósito de materiales de desbroce en muy poca proporción.

Se registraron dos tipos de basamentos rocosos predominantes en el área, encontrándose rocas de naturaleza volcánica como son: tobas brechosas de grano fino a grueso, porosa; así como cuerpos de naturaleza andesítica de grano fino a medio, color grisáceo a plumizo, fracturada y de resistencia débil a media. En general esta unidad geotécnica es adecuada para cimentación.

Estos depósitos son competentes para taludes de corte de considerable altura.

3.2.9.4 NIVEL DE CIMENTACIÓN

Durante la investigación geotécnica se determinaron los niveles de desplante para la cimentación en el área del depósito de material de

desbroce. El criterio de inspección de estos niveles se basa principalmente en encontrar un basamento rígido o no cedente que permita soportar las solicitaciones de carga del mineral a disponer y evite los asentamientos diferenciales pronunciados, asegurándose que los depósitos subyacentes a este nivel sean de las mismas características en profundidad hasta el encuentro del basamento rocoso.

El nivel de cimentación correspondiente al depósito de material de desbroce varía sustancialmente entre 0.4 y 0.7 m en los afloramientos rocosos entre 2.3 y 5 m en las áreas de suelos residuales; en los bofedales desarrollados el nivel de cimentación se encuentra entre 3 y 4.1 m.

3.2.10 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades de los materiales fueron obtenidas a partir de ensayos de laboratorio.

3.2.10.1 MATERIAL DE DESBROCE

El material que será depositado en el DMB es un material con 14% de grava, 35% de arena, 51% de finos y clasificación SUCS de CL. Asimismo, se realizó un ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU) para obtener las propiedades de resistencia al corte, siendo sus parámetros en términos de esfuerzos totales de 15 kPa para la cohesión y 8.7° para el ángulo de fricción. De acuerdo a estos resultados, se consideró una cohesión de 5 kPa y un ángulo de fricción igual a 20° , para representar las parcialmente drenadas de este material en el Depósito.

3.2.10.2 RELLENO ESTRUCTURAL

Los materiales identificados como relleno estructural presentan granulometría gruesa. Su granulometría corresponde a 42% a 70% de grava, 11% a 31% de arena y 15% a 27% de finos, con una clasificación SUCS de GC y GM. Asimismo, se realizó un ensayo de compresión triaxial (CU) remoldeado al 95% del Proctor estándar para obtener las propiedades de resistencia cortante. Los resultados indican una cohesión 12 kPa y un ángulo de fricción de 35.8°. Se realizó un segundo ensayo similar con diferente procedencia, que corresponde a la cantera Lomada. Los resultados indican una cohesión 24 kPa y un ángulo de fricción de 36.2°. De acuerdo a estos resultados se estima un ángulo de fricción conservador de 36° y cohesión nula.

3.2.10.3 DEPÓSITO RESIDUAL

Estos depósitos se caracterizan por poseer suelos con una matriz variable que clasifican como CL, CH, CL-ML, GC y SC según el sistema SUCS. De acuerdo a los ensayos LPT efectuados, estos materiales poseen parámetros geotécnicos tales como: cohesión 10 kPa y ángulo de fricción de 28°. Asimismo, se realizó un ensayo de compresión triaxial (CU) de una muestra inalterada para obtener las propiedades de resistencia cortante. Los resultados indican una cohesión 20 kPa y un ángulo de fricción de 27.9°. De acuerdo a estos resultados se estima un ángulo de fricción conservador de 28° y una cohesión 10kPa.

3.2.10.4 BASAMENTO ROCOSO

La roca subyacente a poca profundidad en los depósitos cercanos fue identificada como andesita. A partir de la clasificación geomecánica de estos materiales obtenidos de los datos de perforaciones y ensayos de carga puntual, se consideró parámetros geotécnicos de 100 kPa y 20°

para la cohesión y ángulo de fricción, respectivamente. Los suelos residuales se encuentran yaciendo y subyaciendo al basamento rocoso presente (rocas de dureza igual o menor a 2).

En general, para la ejecución de los análisis de estabilidad, las propiedades de resistencia cortante de los materiales ensayados han sido reducidas apropiadamente para tomar en cuenta la variabilidad espacial de los mismos. Las propiedades de los materiales son resumidas en la Tabla 18

Tabla 18
Resumen de propiedades de materiales para análisis de estabilidad.

Material	γ_{total} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción (grados)
Material de desbroce	15.0	16.0	5	20
Relleno estructural	18.0	19.0	0	36
Depósito residual	16.0	18.0	10	28

3.3 EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

El estudio de la hidrología proporcionará información base para estimar y verificar las precipitaciones máximas que a su vez servirá de base para el diseño del sistema de drenaje, manejo de flujos y de protección de las instalaciones.

La información básica provino de la estación meteorológica administrada por el SENAMHI. Las estaciones meteorológicas indican las principales características necesarias para el estudio de las precipitaciones como de las evaporaciones, en cuanto a categoría, ubicación geográfica y política, periodo de registro disponible y distancia al ámbito del proyecto. En la Tabla 3.8, se indica la información pluviométrica de la estación Chugur. Se escoge por su cercanía y por tener un registro muy completo de precipitaciones.

3.3.1 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

Se efectuó una evaluación de la precipitación máxima en 24 horas anual y se tomó de la estación instalada en Chugur. En la tabla 09 se indica:

Tabla 09
Precipitación Máxima en 24 Horas - Estación Chugur

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 H (mm)		1989	45.6
AÑO	ESTACION CHUGUR	1990	43
1966	48.3	1991	27.5
1967	102	1992	9.9
1968	47.9	1993	8.8
1969	80.9	1994	64
1970	43.1	1995	26.9
1971	42.5	1996	50
1972	50	1997	63.8
1973	34.2	1998	53.9
1974	51	1999	50.9
1975	56.3	2000	85.1
1976	40	2001	62.6
1977	57.7		
1978	74.7	2002	43.7
1979	33	2003	75.1
1980	25	2004	74.4
1981	30.3	2005	58.5
1982	33.2	2006	67.8
1983	35.7	2007	59.2
1984	28.6	2008	44.9
1985	27.9	2009	87.3
1986	18.2	2010	62.9
1987	19.5	2011	74.8
1988	19.5	2012	66.5

3.4 ENSAYOS GEOQUÍMICOS Y QUÍMICOS

3.4.1 GEOQUÍMICA DEL DEPÓSITO DE MATERIALES DE DESBROCE:

Los resultados de los ensayos geoquímicos estáticos y cinéticos en muestras compósito del desbroce, indican que estos materiales son potenciales generadores de drenaje ácido, es por ello que el diseño del DMB considerará esquemas que permitan la colección de efluentes que puedan presentar acidez y su descarga en un pozo de captación para su tratamiento.

En toda el área del emplazamiento del DMB, se colocará como primera capa y con un espesor de 1 a 2 m aproximadamente, un material neutro (cal, caliza o dolomita) para neutralizar el potencial de generación de acidez.

Asimismo, para controlar los efectos de la generación de drenaje ácido durante la operación de descarga del desbroce, el material será encapsulado periódicamente, en cada capa, empleando material neutro.

3.4.2 CRITERIOS DE MUESTREO:

Se ha muestreado diferentes muestras, obteniendo fragmentos de dos a cinco pulgadas mediante una malla irregular.

Para fines del presente estudio se procedió a homogenizar el tamaño de partículas, luego se tomaron pesos iguales de cada muestra, se mezclaron finalmente se procedió a cuartearlo para obtener una muestra compósito representativa.

3.4.3 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL COMPÓSITO DE DESBROCE

3.4.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Para el análisis químico la muestra compósito del desbroce fue excitada en un arco DC y luego de identificados los elementos, fueron determinados cuantitativamente por análisis espectral cuyo resultado se indica en la tabla 10 siguiente:

Tabla 10: Composición química

Componentes	Abundancia
% SiO ₂	74.87
% Al ₂ O ₃	19.50
% Fe ₂ O ₃	1.70
% CaO	0.30
% MgO	0.11
% Na ₂ O	1.12
% K ₂ O	1.72
Ti(ppm)	1500.00
S(ppm)	1400.00
As(ppm)	951.00
Pb(ppm)	86.60
Cu(ppm)	76.70
Mn(ppm)	58.40
Zn(ppm)	17.20
Ag(ppm)	15.20
Co(ppm)	4.00
Cd(ppm)	3.90
Ni(ppm)	3.00
Hg(ppm)	0.79
Au(ppm)	0.011

3.4.3.2 COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

Se determinó por observaciones microscópicas de briqueta pulida y sección delgada, complementado por difracción de rayos X.

La muestra del compuesto está constituido por fragmentos de rocas angulosas y subredondeadas estando fuertemente silicificados y argilizados los feldespatos. Además, se encuentran fuertemente alterados; con escasa y fina diseminación de sulfuros y ausencia de carbonatos. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la Tabla 11 siguiente:

Tabla 11
Composición Mineralógica

Minerales	Fórmula	% en Peso
Cuarzo	SiO_2	627
Pirofilita	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	126
Alunita	$\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	33
Diáspora	$\text{AlO}(\text{OH})$	131
Ortoclasa	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	26
Albita	$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$	17
Anortita	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	91
Pirita	FeS_2	167
Calcopirita	CuFeS_2	22
Esfalerita	$(\text{Zn,Fe})\text{S}$	3
Galena	PbS	10
Arsenopirita	FeAsS	207
Hematita	Fe_2O_3	193
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	12
Pirolusita	MnO_2	1

3.4.4 PRUEBA ESTÁTICA DEL COMPÓSITO DE DESBROCE

3.4.4.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA ESTÁTICA

Es caracterizar el potencial de generación de ácido. Esta prueba permite tipificar el desbroce y establecer si se realizarán pruebas cinéticas.

Una prueba estática define el balance entre los minerales potencialmente generadores de acidez y aquellos potencialmente consumidores o neutralizadores del ácido en el desbroce. Los minerales que producen ácido son generalmente los minerales sulfurosos reactivos y los minerales que consumen ácido son principalmente los carbonatos y en menor proporción los hidróxidos, silicatos y arcillas. En teoría, una muestra será generadora neta de ácido, si su potencial para la generación de ácido excede a su potencial de neutralización. Las pruebas estáticas son útiles sólo para predicciones cualitativas del potencial de generación de ácido; no pueden utilizarse para predecir la calidad del agua de drenaje.

3.4.4.2 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA ESTÁTICA

La metodología para el desarrollo de la prueba estática es:

- Análisis del contenido metálico de la muestra compósito; en nuestro caso se indica en la composición química del material de desbroce.
- Medición del pH en pasta
- Determinación del contenido total de azufre y de las especies sulfurosas
- Titulación para la determinación del potencial de neutralización.

Los resultados de las tres últimas determinaciones se indican en la Tabla 12 de la evaluación del potencial neto de neutralización (PNN).

El pH en pasta se mide para determinar si antes del análisis ha ocurrido generación de ácido. El azufre total se analizó utilizando un horno tipo Leco y otros procedimientos analíticos que permitieron determinar las

especies sulfurosas. La determinación del potencial neto de neutralización se realiza según el procedimiento modificado Sobek.

3.4.4.3 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN

La evaluación del contenido de azufre como sulfuro y la prueba ácido-base del compósito material de desbroce nos permite determinar el potencial neto de neutralización como se indica en la Tabla 12 siguiente:

Tabla 12
Resultados

Muestra	PH en pasta	%S	PN	PA	PNN	PN/PA
Material de desbroce	6,2	14	9,68	4,37	5,31	2,22

Donde:

PN = Potencial de neutralización

%S = Porcentaje de azufre como sulfuro

PA = Potencial de acidez

PNN = Potencial neto de neutralización

PN, PA y PNN están expresados en KgCaCO₃/TM y evaluados según:

EXTRACTS FROM FIELDS AND LABORATORY METHODS APPLICABLE TO
OVERBURDENS AND MINE SOILS, U.S. EPA, 600/2 – 78-054, 1978.

3.4.4.4 POSIBILIDAD DE DRENAJE ACIDO DEL COMPÓSITO DE MATERIAL DE DESBROCE

Los resultados del potencial neto de neutralización indican que el compósito de material de desbroce tiene un valor de 5,31 expresado en KgCaCO₃/TM, predominando levemente los minerales neutralizantes silicatados sobre los escasos sulfuros. De acuerdo a las consideraciones siguientes:

Como $PNN = PN - PA$

Si $PNN > +20$; la muestra NO GENERA DRENAJE ÁCIDO

Si $PNN < -20$; la muestra GENERA DRENAJE ÁCIDO

Si $-20 < PNN < +20$, muestra de comportamiento INCIERTO

De acuerdo con los criterios indicados podemos indicar que la muestra compósito de material de desbroce con el valor PNN de 5,31 expresado en $\text{KgCaCO}_3/\text{TM}$ indica un comportamiento incierto en generar drenaje ácido en presencia de agua, oxígeno y actividad bacterial.

3.4.5 PRUEBA CINETICA DEL COMPÓSITO DE MATERIAL DE DESBROCE

3.4.5.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA CINÉTICA

Es confirmar el potencial de generación ácido y predecir la calidad del agua de drenaje; la cual se realiza sometiendo el compósito de material de desbroce a un intemperismo simulado, bajo condiciones controladas de laboratorio.

3.4.5.2 ACONDICIONAMIENTO DEL COMPÓSITO DE MATERIAL DE DESBROCE EN COLUMNAS SEGÚN NORMAS PARA PRUEBAS CINÉTICAS

El material compósito de material de desbroce acondicionados para la prueba muestran una granulometría variada de 40% con tamaños entre 5 a 2 pulgadas y el 60% con tamaños inferiores a 2 pulgadas.

Para este proceso se utilizó una columna de humedad de 1.13 m de largo por 24.5 cm. de diámetro (sección de 452.39 cm^2) cargada con 50 Kg. de material compósito de material de desbroce cubriendo una altura de columna de 80 cm.

3.4.5.3 PROCESO DE OXIDACIÓN DEL COMPÓSITO DE MATERIAL DE DESBROCE CON AIRE SECO Y HÚMEDO EN CICLOS SEMANALES DURANTE UN PERIODO DE 5 MESES

El proceso de oxidación e hidrólisis del material compósito de material de desbroce en la columna se realizó en un proceso cíclico semanal de 3 días con aire seco, 3 días con aire húmedo en un flujo de 1.9 Litros/minuto; el séptimo día se realizó la extracción con agua destilada.

3.4.5.4 EXTRACCIÓN SEMANAL DE LA SOLUCIÓN LIXIVIADA DEL COMPÓSITO DE MATERIAL DE DESBROCE

La extracción del lixiviado se realizó con 2 Litros de agua destilada equivalentes a una precipitación anual de 2299 mm., superior a la precipitación anual promedio en la zona del yacimiento.

3.4.5.5 EVALUACIONES CUANTITATIVAS SEMANALES DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y METALES DE LA SOLUCIÓN EXTRAÍDA DEL COMPÓSITO MATERIAL DE DESBROCE LIXIVIADO

Luego de terminar con las extracciones semanales se realizaron las mediciones de los parámetros físico-químicos sin preservar las muestras y posteriormente debidamente filtrado y preservado con ácido nítrico los metales.

3.4.5.6 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y METALES DE LA SOLUCIÓN LIXIVIADA DEL MATERIAL COMPÓSITO DE MATERIAL DE DESBROCE

Los parámetros físico-químicos fueron determinados utilizando un potenciómetro debidamente calibrado permite medir el pH, conductividad y potencial redox, asimismo los sulfatos se determinaron por espectrofotometría, los metales como el Cu, Pb, han sido determinados por Absorción atómica se indica en la Tabla 13.

Tabla 13
Parámetros físico químicos y Cu, Pb lixiviados del material compósito del material de desbroce

Semanas	PH	Conduc tividad (μ S/cm)	Potencial Redox (mV)	Sulfatos (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)
---------	----	------------------------------------	----------------------------	--------------------	--------------	--------------

1	6.1	233	239	5.39	0.006	0.415
2	8.5	146	179	9.96	0.006	0.374
3	5.0	225	270	11.34	0.008	0.332
4	5.0	234	278	9.28	0.024	0.207
5	4.8	208	286	12.39	0.029	0.290
6	4.7	188	293	13.47	0.024	0.457
7	4.7	184	296	16.63	0.006	0.332
8	4.7	169	300	9.28	0.035	0.124
9	4.9	125	294	9.28	0.053	0.332
10	4.7	177	310	12.75	0.006	0.083
11	4.4	200	316	6.02	0.006	0.062
12	4.5	162	312	6.66	0.006	0.124
13	4.2	161	317	7.30	0.006	0.374
14	4.8	80	299	4.45	0.006	0.332
15	4.7	61	284	3.53	0.006	0.415
16	3.2	66	270	2.33	0.007	0.374
17	4.1	456	266	2.33	0.041	0.290
18	3.9	43	198	1.15	0.047	0.457
19	3.3	92	287	1.74	0.018	0.415
20	3.7	50	237	2.33	0.047	0.499
21	3.8	45	253	2.03	0.059	0.415

Tabla 14
Metales Zn, Fe, Mn, Cd, As y Hg lixiviados del material
compósito de material de desbroce

Semanas	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cd (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)
1	0.039	0.066	0.057	0.003	0.149	0.00099
2	0.029	0.542	0.092	0.004	0.501	0.00437
3	0.048	0.120	0.104	0.003	0.362	0.00305
4	0.019	0.421	0.115	0.004	0.464	0.00352
5	0.023	0.090	0.231	0.003	0.425	0.00256
6	0.033	0.663	0.092	0.004	0.243	0.00130
7	0.037	0.724	0.104	0.004	0.304	0.00127
8	0.033	0.906	0.115	0.003	0.264	0.00149

9	0.031	0.724	0.127	0.004	0.279	0.00139
10	0.023	0.542	0.08	0.003	0.17	0.00068
11	0.035	0.603	0.29	0.004	0.139	0.00100
12	0.027	0.663	0.104	0.005	0.145	0.00055
13	0.031	0.603	0.092	0.005	0.132	0.00032
14	0.054	0.482	0.302	0.004	0.124	0.00029
15	0.050	0.542	0.092	0.004	0.126	0.00031
16	0.037	0.785	0.115	0.004	0.136	0.00029
17	0.041	0.724	0.127	0.004	0.091	0.00013
18	0.035	0.663	0.15	0.004	0.098	0.00007
19	0.046	0.785	0.127	0.005	0.093	0.00002
20	0.041	0.845	0.08	0.005	0.1	0.00011
21	0.048	0.724	0.104	0.005	0.096	0.00007

Los metales como el Zn, Fe, Mn y Cd han sido determinados por Absorción atómica, As con generador de hidruros y Hg por el método del vapor frío según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater -19th Edition 1995.

CONCLUSIONES

- El material de desbroce está constituida por fragmentos angulosos y subredondeados con tamaños menores a 5 pulgadas correspondientes a rocas fuertemente silicificadas y argilizadas con diseminación fina de sulfuros como piritita, arsenopiritita, calcopiritita, galena y esfalerita, además de escasos óxidos y ausencia de carbonatos.
- La composición química del material de desbroce revela una matriz silicatada donde ocurren algunos elementos trazas de importancia ambiental como el Azufre (1400 ppm), Arsénico (951 ppm), Pb (86,6 ppm), Cd (3,9 ppm) y Hg (0,787 ppm).

- El potencial neto de neutralización del material de desbroce (PNN) con un valor de 5,31 KgCaCO₃/TM indica un comportamiento incierto en generar drenaje ácido.
- La prueba cinética indica que el pH tiende a disminuir en los extractos a partir de la 5° semana (pH igual a 4,8) y siendo aún menor a partir de la 16° semana (pH igual a 3,2), los sulfatos en las primeras semanas tienden a aumentar y luego estabilizarse a partir de la 20° semana; el Pb, As y Zn tienden a mantener una calidad más o menos uniforme a partir de la 13° semana.
- La tendencia del pH a una mayor acidez indica que los sulfuros tienden a generar ácido sulfúrico por la acción de la oxidación e hidrólisis lo cual implica una tendencia a generar drenaje ácido por los materiales de desbroce en el futuro.
- Los gráficos de la prueba cinética revelan un drenaje aproximadamente constante de Fe, Mn y Cd, sin embargo el Cu tiende a aumentar a partir de la semana 17, no así el Hg que tiende a disminuir.
- La prueba cinética del material compuesto de material de desbroce en columna de humedad durante 21 semanas (5 meses) indica un comportamiento generador de drenaje ácido con una calidad de agua que no cumple en algunos elementos con la Ley General de Aguas clase III.

3.5 EVALUACIÓN SÍSMICA

3.5.1 SISMICIDAD DEL ÁREA

La sismicidad fue evaluada a partir de un estudio de Peligro Sísmico de un proyecto muy cercano al proyecto, a partir del cual se estimó el valor de la aceleración horizontal máxima a considerarse en los diseños y análisis geotécnicos en el presente estudio. El estudio en mención corresponde al Proyecto Cerro Corona.

3.5.2 ACELERACIÓN DE DISEÑO

Se ha realizado la compilación de información del estudio de peligro sísmico realizado para el proyecto Cerro Corona, en el cual fue desarrollado a partir de métodos determinísticos y probabilístico. A continuación se resume este estudio:

3.5.2.1 MÉTODO DETERMINÍSTICO

La estimación del sismo extremo se realizó a base de la información sísmica del catálogo de sismos históricos e instrumentales ocurridos cerca del proyecto.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 15, se observa que la actividad sísmica producida por la Subducción profunda de Intraplaca, bajo criterios determinísticos puede generar aceleraciones horizontales máximas de hasta 0,46g.

Tabla 15
Resultados del Método Determinísticos

Fuente de Falla	Distancia (Km)	Profundidad (Km)	a_{max} (g)
Zona de subducción poco profunda de interfase	100	40	0.13 – 0.23
Zona de subducción profunda de intraplaca	80	100	0.26 – 0.46
Zona de corteza superficial	100	25	0.04 – 0.05
Zona de corteza superficial cercana al sitio	15	20	0.28 – 0.4
Falla Chaquilbamba	110	-	0.014
Falla Quiches	196	-	0.015
Falla Cordillera Blanca	216	-	0.028
Falla Rioja - Moyobamba	184	-	0.026

3.5.2.2 MÉTODO PROBABILÍSTICO

En la Tabla 16 se muestran los resultados obtenidos por Alva (2005), correspondientes a las máximas aceleraciones horizontales esperadas en la zona de estudio para diferentes períodos de retorno, considerando los

modelos de atenuación de Boore (1993), Dahle A. (1995), Schmidt (1997), Casaverde y Varga (1980), y Young (1997).

Tabla 16
Aceleraciones Máximas para Diferentes Períodos de Retorno

Ley de Atenuación	Periodo de Retorno (años)						
	100	200	500	1000	2000	5000	10000
Boore, Joyner y Fumal (1993)	0.13	0.15	0.19	0.23	0.28	0.36	0.43
Dahle, A. et al (1995)	0.09	0.10	0.14	0.15	0.18	0.21	0.24
Schmidt, et al (1997)	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.23	0.27
Young, et al (1997) y Campbell (1981)	0.08	0.09	0.12	0.14	0.17	0.21	0.24
Casaverde y Vargas (1980)	0.20	0.22	0.29	0.31	0.36	0.43	0.49
Young et al. (1997) y Sadigh et al. (1997)	0.07	0.08	0.11	0.14	0.17	0.23	0.27

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 16, se considera una aceleración horizontal de diseño de 0,29g, correspondiente al valor más alto del rango de valores de aceleraciones obtenidas del análisis probabilístico, correspondiente a un periodo de retorno de 500 años.

3.5.3 COEFICIENTE SÍSMICO

El coeficiente sísmico es usualmente calculado como una fracción de la aceleración máxima esperada en la zona del proyecto a nivel de superficie. Por ejemplo, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers), recomienda el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración máxima. La literatura técnica internacional acepta el uso de una fracción que varía entre 1/2 a 1/3 de la máxima aceleración esperada.

Por lo tanto, para el análisis pseudo-estático del diseño de taludes, se recomienda utilizar un valor del coeficiente sísmico de $\alpha=0,15$.

Es importante mencionar que la aceleración máxima a partir de la cual se obtiene el coeficiente sísmico, debe ser calculada a nivel de la superficie del terreno. Usualmente los valores de aceleración obtenidos de un estudio de

riesgo sísmico son reportados a nivel de basamento rocoso; por lo tanto, si la obra en estudio no se encuentra sobre basamento, se deberán realizar los estudios de respuesta sísmica que sean necesarios para obtener la aceleración amplificada o atenuada en la superficie del terreno, lo cual dependerá de las condiciones locales del suelo.

CAPITULO 4. DESARROLLO DEL TEMA

4.1 CÁLCULOS GEOTÉCNICOS

4.1.1 GENERALIDADES

Para contrarrestar la inestabilidad en el lugar del asentamiento del depósito que pudiese existir por la pendiente existente, se realiza pruebas de inestabilidad de taludes del DMB en su capacidad máxima y con los diques de contención.

4.1.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Para este análisis se utilizó un software de análisis de estabilidad de taludes completamente integrado, que permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y la definición de los tipos y propiedades de los materiales.

El análisis para calcular el factor de seguridad se lleva de manera bidimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación plana. Existen diferentes métodos de análisis, la cual lo describiremos a continuación:

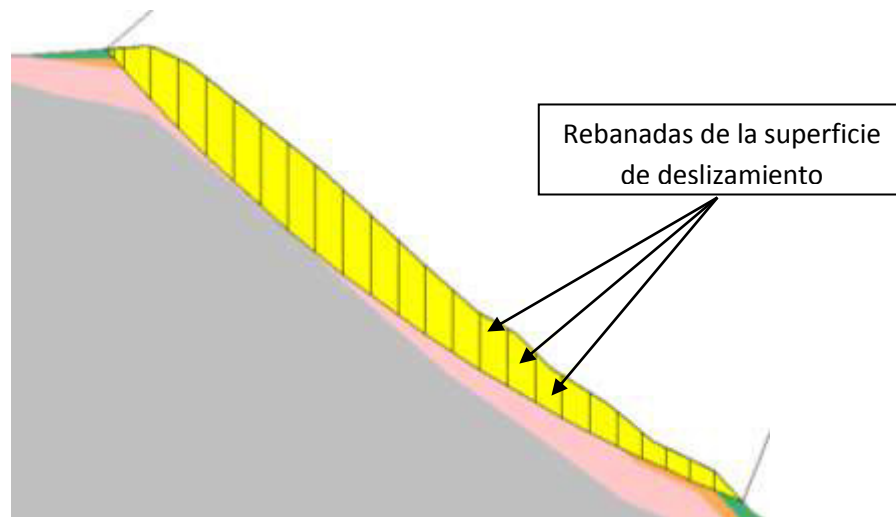
Tabla 17
Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

MÉTODO	SUPERFICIE DE FALLA	DESCRIPCIÓN
Talud Infinito	Rectas	La superficie de falla es paralelo a la del talud.
Fellenius	Circulares	Usa rebanadas verticales en el área de la falla para realizar un equilibrio de las fuerzas, pero no considera las fuerzas entre rebanadas (dovelas).

Bishop simplificado	Circulares	No considera de las fuerzas cortantes entre dovelas. Satisface el equilibrio de momentos.
Janbú Simplificado	Todas	Similar a Bishop. Considera un factor de corrección para el error en la superficie de falla.
Spencer	Todas	Cumple con el equilibrio de momentos y esfuerzos. Propone fuerzas entre dovelas paralelas.

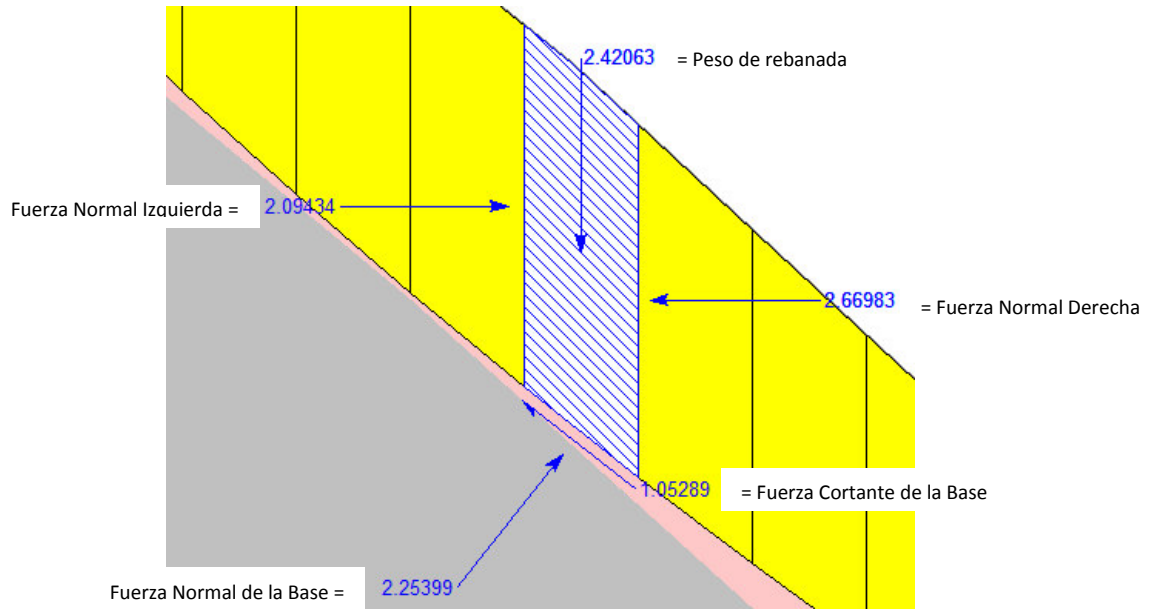
Para el presente análisis se ha utilizado el Método de Spencer. Adicionalmente, se menciona que este método es el recomendado para cálculos geotécnicos.

Figura 05: SLIDE – Empleo de las rebanadas para el cálculo del FS



**Para el presente trabajo se tomaran 25 rebanadas*

Figura 06: SLIDE – Fuerzas de la Superficie de Rotura



*Las unidades de los esfuerzos están en kN. La medida de la rebanada es de 0.21 x 0.27 m

La superficie de falla crítica es definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, y fue encontrada en forma interactiva modificando las condiciones de búsqueda de la misma evaluándose superficies de falla tanto circulares, como en bloque.

En el análisis de esfuerzos efectivos, la resistencia al corte de un suelo se define como:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi'$$

Donde:

τ = Resistencia al corte

c' = Cohesión efectiva

σ_n = Esfuerzo normal total

u = Presión hidrostática

ϕ' = Angulo de reposo

Como hipótesis del análisis se considera que las propiedades de los materiales que conforman las diferentes estructuras analizadas, son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la

superficie de deslizamiento. Cada material tiene sus propiedades y características físicas y mecánicas.

Para el análisis pseudo-estático se considera que la masa involucrada en la falla está sometida a una aceleración horizontal igual a un coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de la gravedad, de modo de tomar en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el terremoto de diseño. De acuerdo a lo referido anteriormente, el coeficiente sísmico horizontal utilizado es de 0.15.

4.1.3 CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño establecidos para el presente análisis fueron los siguientes:

- Mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual a 1.4;
- Mínimo factor de seguridad estático a corto plazo igual a 1.3; y
- Mínimo factor de seguridad pseudo-estático a largo plazo y para taludes permanentes igual o mayor a 1.0.
- Desplazamientos inducidos por sismo que no comprometan la seguridad del apilamiento o la integridad del sistema de revestimiento.

Se debe indicar que un factor de seguridad pseudo-estático mayor que 1.0 no significa que el apilamiento de mineral o desmonte no se moverá durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños permanentes en el sistema de revestimiento, asociados al terremoto de diseño.

4.1.4 CONDICIÓN DE ANÁLISIS

Se ha tomado en cuenta las siguientes condiciones para el análisis:

- El análisis ha considerado la condición más crítica representada por las secciones de mayor altura y de mayor pendiente en su base
- El análisis estático y pseudo-estático a largo plazo del DMB, han sido modelados considerando parámetros parcialmente drenados para el material de desbroce.
- Los resultados obtenidos se muestran en el acápite 4.1.6

4.1.5 RESULTADOS OBTENIDOS

En la Tabla 19 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad realizados. En esta tabla se presentan los resultados para los casos estático y pseudo-estático, según correspondan.

Como se puede observar de los resultados obtenidos en las secciones analizadas del depósito de material de desbroce, los factores de seguridad son mayores que los mínimos recomendados de los criterios de diseño asumidos en este estudio, tanto para la condición estática como pseudo-estática y para el tipo de falla analizado (circular).

Se puede concluir que la configuración de los taludes propuestos para el depósito de material de desbroce, presentan apropiadas condiciones de estabilidad.

Tabla 19
Resultados de los Análisis de Estabilidad

Área	Sección geotécnica analizada	Caso	Factor de seguridad	
			Estático	Pseudo-estático K=0.15
Depósito de material de desbroce	Sección1	Falla circular	2.78	1.623
	Sección 2	Falla circular	2.61	1.55

A continuación se presenta las salidas del programa SLIDE, las cuales ilustran los análisis de estabilidad realizados en el depósito de material de desbroce.

Análisis de Estabilidad del DMB

Figura 07: Sección Geotécnica 1 - Falla Circular, Análisis Estático

Material	γ	γ	C	ϕ
	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)
Desbroce	17	18	0	32
Desmonte de Mina	18	19	0	38
Depósito Residual	19	20	10	28
Relleno estructural	19.7	21	0	37

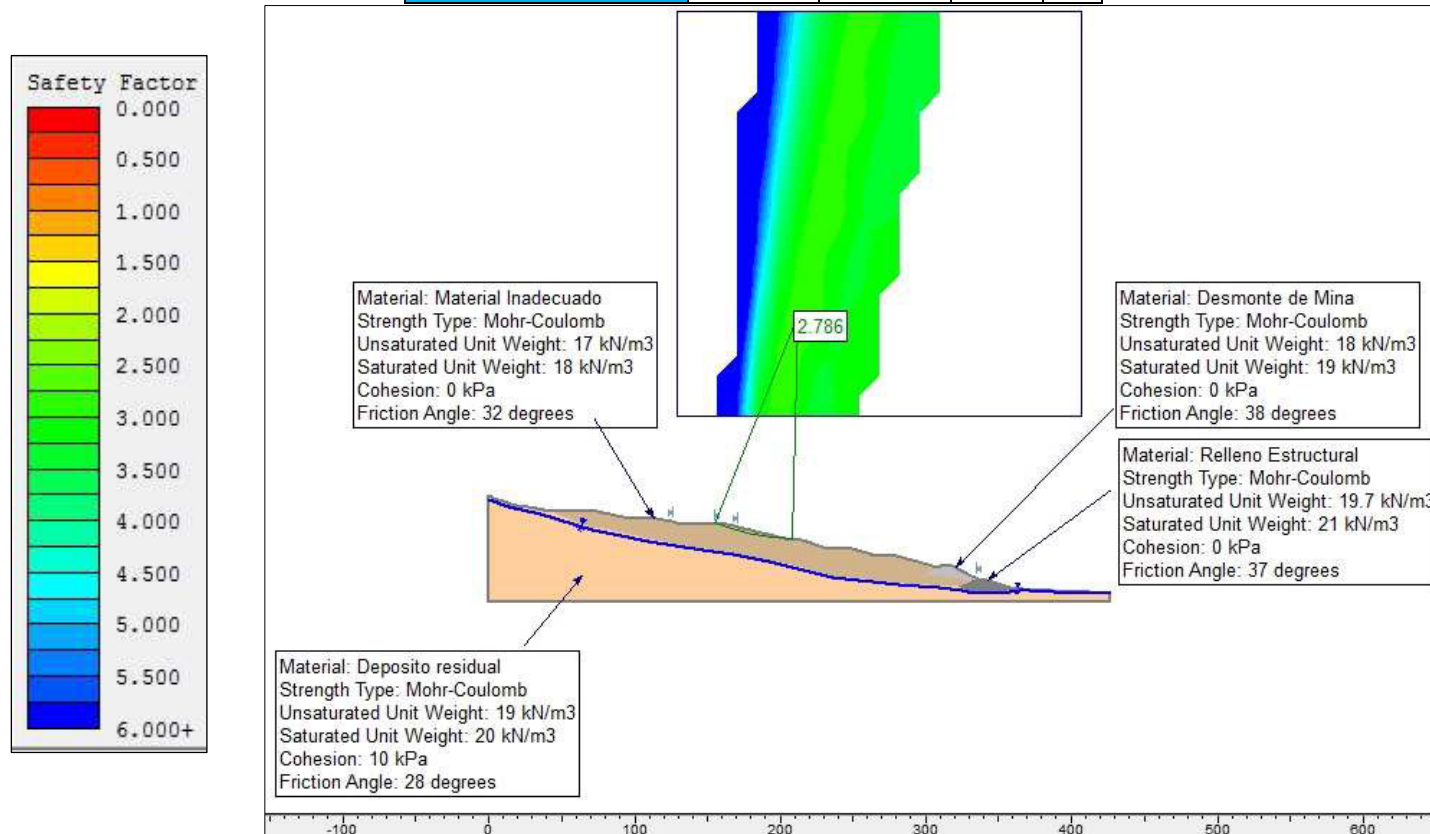


Figura 08: Sección Geotécnica 1 - Falla Circular, Análisis Pseudoestático

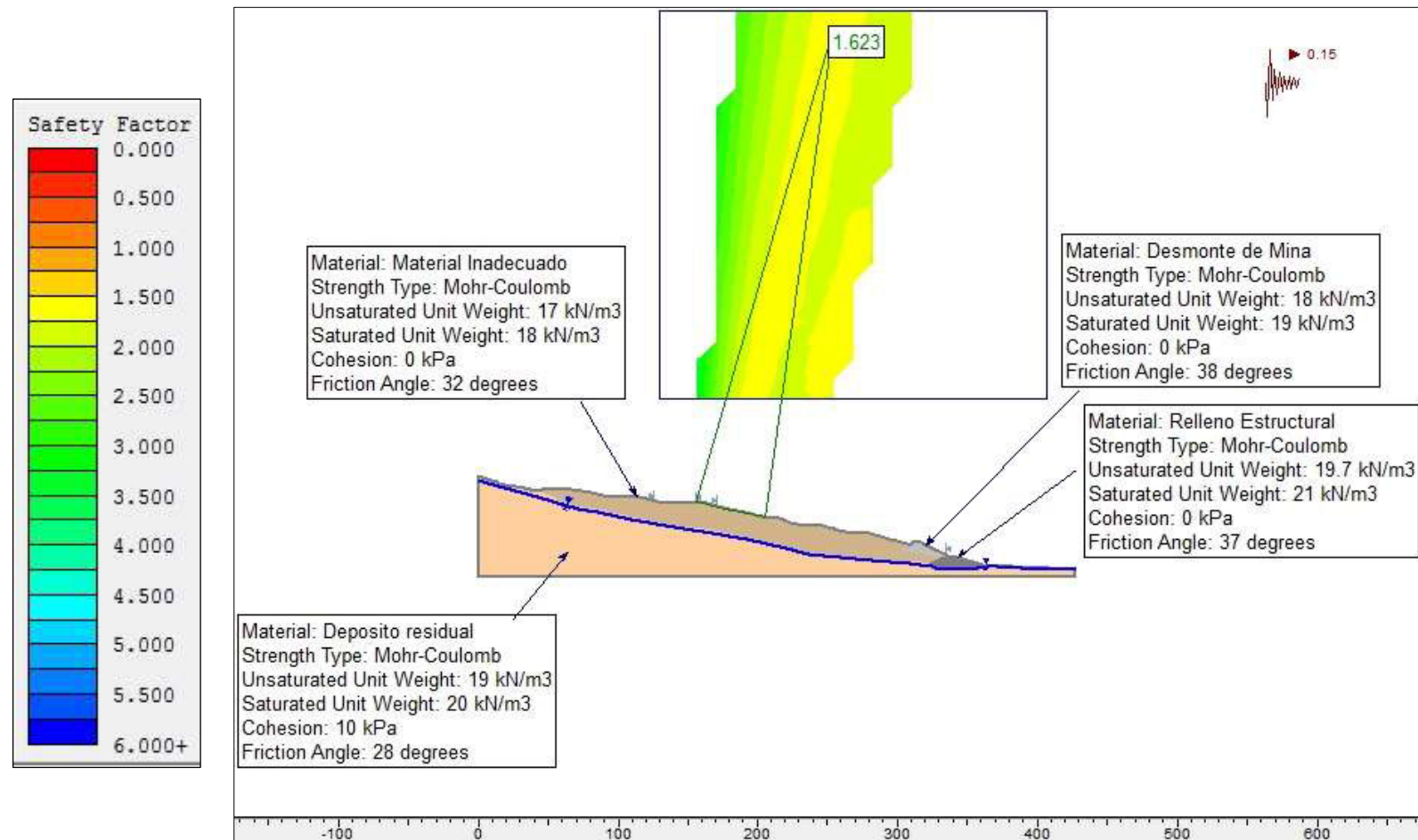


Figura 09: Sección Geotécnica 2 - Falla Circular, Análisis Estático

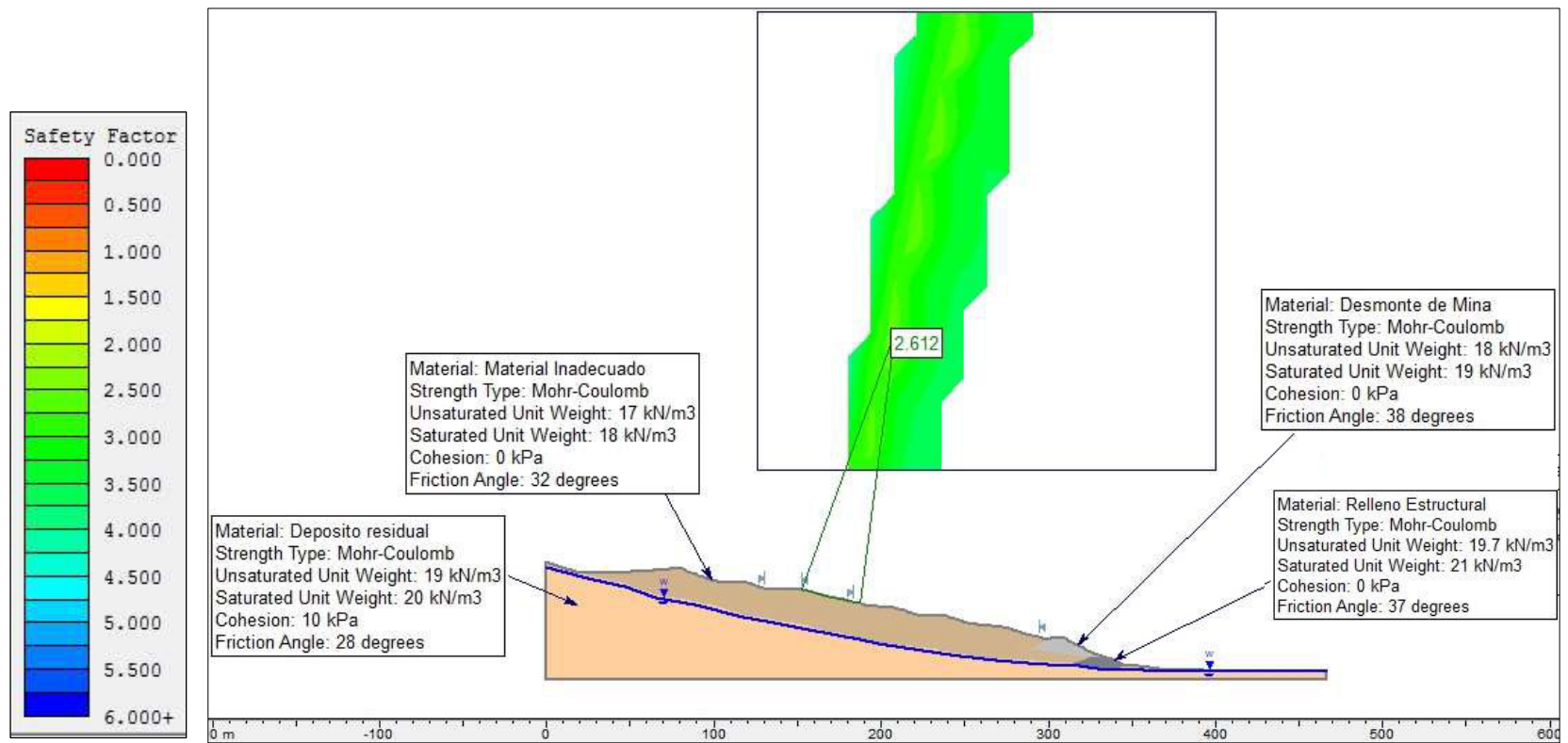
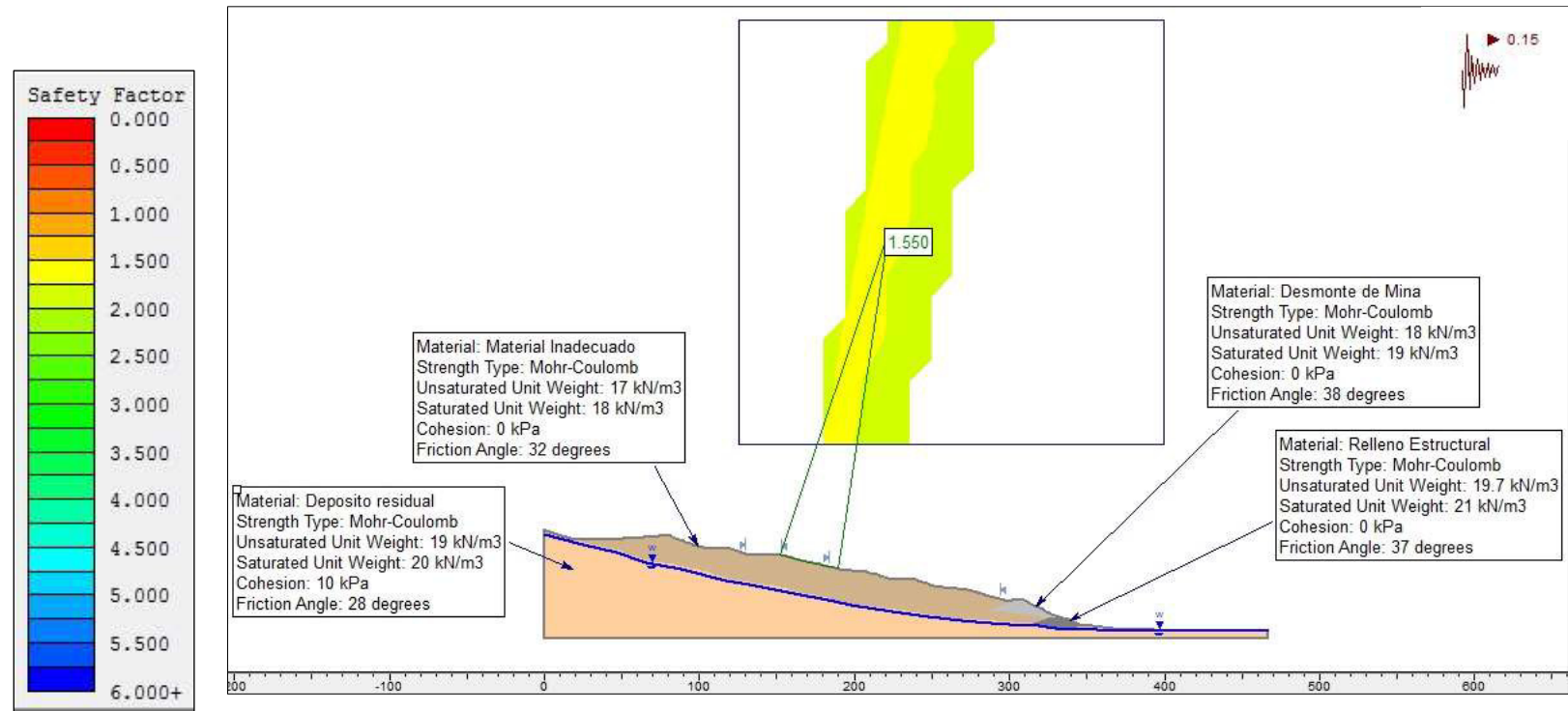


Figura 10: Sección Geotécnica 2 - Falla Circular, Análisis Pseudoestático



4.2 CÁLCULOS HIDROLÓGICOS

Para evitar el contacto de agua de con el material de desbroce, se realizan canales superficiales para conducir el agua de escorrentía a las afueras del depósito y/o derivarlos a una poza de monitoreo.

Para el diseño de los canales, se realizó una recopilación de información geológica y geográfica del área de estudio y la revisión de los manuales de Hidrología y Cierre de Minas publicado por el Estado Peruano. Se solicitaron los registros históricos de aproximadamente 50 años de precipitación de la estación más próxima al proyecto (Estación Chugur) al SENAMHI.

Con la información hidrológica, se realizaron ajustes a las tres distribuciones de probabilidad descritas (Gumbel, Log-Normal y Pearson Tipo III) haciendo uso de un software apropiado para el caso, con periodo de retorno de 500 años, con la finalidad de elegir el que más se acerca a una función matemática. Para elegir la función, se realiza el Test de Kolmogorov-Smirnov.

4.2.1 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

Para la Probabilidad y la Estadística, la distribución es una función que asigna a cada suceso definido, la probabilidad de que dicho suceso ocurra.

En Hidrología, una campana asimétrica (Gumbel, Pearson tipo III, etc.) se ajustará mejor en los cálculos de los valores máximos o mínimo de precipitación o caudales, ya que los datos que se manejan no tienen la misma proporción de valores pequeños y grandes.

Basándonos en el DS 024-2016-EM, el artículo 380 del Capítulo XXI “Edificaciones e Instalaciones”, menciona “Todas las edificaciones e instalaciones permanentes o temporales serán de construcción segura y

firme para evitar el riesgo de desplome, y deberán cumplir las exigencias que determinen los reglamentos de construcciones o las normas técnicas respectivas y de acuerdo a Estudio aprobado por la autoridad competente.”. Por este motivo, se tomará como referencia el “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje”, publicado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones para estimar los caudales máximos bajo un tiempo de retorno determinado. El manual recomienda usar las funciones que se mencionan:

4.2.1.1 DISTRIBUCIÓN GUMBEL O EXTREMA TIPO I

Una familia importante de distribuciones usadas en el análisis de frecuencia hidrológico es la distribución general de valores extremos, la cual ha sido ampliamente utilizada para representar el comportamiento de crecientes y sequías (máximos y mínimos).

Función de Densidad

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[\left(-\frac{x-\beta}{\alpha} \right) - \exp \left(-\frac{x-\beta}{\alpha} \right) \right]$$

En donde α y β son los parámetros de la distribución.

Función de Distribución Acumulada de Gumbel es:

$$F(x) = \int f(x) \cdot dx = \exp \left(-\exp \left(-\frac{x-\beta}{\alpha} \right) \right)$$

Estimación de parámetros

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s \quad \beta = \bar{x} - 0.5772\alpha$$

Dónde: \bar{x} y s son la media y la desviación estándar estimadas con la muestra.

Factor de Frecuencia:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right] \right\}$$

Dónde: T_r es el periodo de retorno.

4.2.1.2 DISTRIBUCIÓN LOG - NORMAL

Esta distribución es muy usada para el cálculo de valores extremos. Tiene la ventaja que trabaja con variables positivas (precipitación, caudal, etc.) y que la transformación Log tiende a reducir la asimetría positiva ya que al sacar logaritmos se reducen en mayor proporción los datos mayores que los menores.

Limitaciones: tiene solamente dos parámetros, y requiere que los logaritmos de las variables estén centrados en la media

Función de Densidad

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}}, \quad y = \ln x, \quad x > 0$$

Factor de Frecuencia

Si se trabaja con los X sin transformar el K_T se calcula como

$$K_T = \frac{e^{\left(K_T \cdot \sqrt{\ln(1+Cv^2)} - \frac{\ln(1+Cv^2)}{2} \right)} - 1}{Cv}$$

K_T es la variable normal estandarizada para el T_r dado

$$Cv = \frac{s}{\bar{x}}$$

Cv es el coeficiente de variación, \bar{x} media de los datos originales y s desviación estándar de los datos originales.

4.2.1.3 DISTRIBUCIÓN GAMMA O PEARSON TIPO III

Es muy usada en hidrología por su facilidad de adaptación de los datos, no se sujeta a restricciones especialmente para caudales y precipitaciones. La función de densidad de probabilidad Pearson III se define como:

Función de Densidad

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \cdot \left(\frac{x - \delta}{\alpha} \right)^{\beta-1} \cdot \exp\left(- \frac{x - \delta}{\alpha} \right)$$

Dónde: α , β y δ son los parámetros de la función y $\Gamma(\beta)$ es la función Gamma.

Estimación de Parámetros

$$\bar{x} = \alpha\beta + \delta, S^2 = \alpha^2\beta \quad \gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}}$$

Dónde: \bar{x} es la media de los datos, S^2 es su variancia y γ su coeficiente de sesgo, que se define como:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{S^3}}{n}$$

De este modo la función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \int_0^y e^{-\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}} \left(\frac{x-\delta_1}{\alpha_1} \right)^{\beta-1} dx$$

Sustituyendo:

$$y = \frac{x - \delta}{\alpha}$$

La ecuación se escribe como:

$$F(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_0^y y^{\beta-1} \cdot e^{-y} dy$$

4.2.2 ANALISIS DE FRECUENCIA

Este procedimiento consiste en predecir el comportamiento futuro de las precipitaciones en un sitio de interés, a partir de la información histórica de precipitaciones. Para la determinación de las distribuciones de probabilidad, se empleó el modelo HYFRAN (Hydrologic frequency Analysis).

Para el análisis de frecuencias, se utilizó las siguientes distribuciones de frecuencia:

Distribución Gumbel

Distribución Log - Normal

Distribución Pearson Tipo III

De estas distribuciones se ha seleccionado la distribución Pearson Tipo III, considerando que brinda un buen ajuste para valores meteorológicos extremos.

Cabe indicar que los valores de precipitación máxima fueron ajustados por el factor 1.13. Este valor es recomendado por la WMO (World Meteorological Organization). El fin de este ajuste es para corregir algún margen de error que pudo haber existido en las estaciones, y, por consecuencia, trabajar con valores máximos.

Con los registros de precipitación máxima en 24 horas se procedió a evaluar los niveles de precipitación extrema probable, para periodos de ocurrencia media de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 500 y 1000 años.

Los resultados de este análisis se encuentran en la Tabla 20

Tabla 20
Precipitación Máxima según las Distribuciones de Probabilidad

Tiempo de Retorno (años)	Pmax 24 horas(mm)		
	Gumbel	Log Normal	<u>Pearson Tipo III</u>
2	45.8	43.7	47.8
5	67.8	68.3	66.4
10	82.4	86.3	76.9
20	96.4	105	85.9
25	101	111	88.6
50	114	130	96.4
75	122	142	101
100	128	150	104
150	136	163	108
200	142	171	111
<u>500</u>	159	201	<u>119</u>
1000	173	225	125

4.2.3 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Para determinar cuál de las distribuciones estudiadas se adaptan mejor a la información histórica, se tienen diferentes métodos.

En el presente estudio, se aplicó la prueba Kolmogorov-Smirnov. Se escogió este tipo de prueba porque se compara las funciones de distribuciones empíricas de la muestra con la que se desea contrastar.

4.2.4 PRUEBA DE SMIRNOV-KOLMOGOROV

Para determinar cuál de las distribuciones estudiadas se adapta mejor a la información histórica se utilizó el método de Smirnov Kolmogorov.

El estadístico Smirnov Kolmogorov D. considera la desviación de la función de distribución de probabilidades teórica, escogida $Po(x)$ tal que:

$$D_n = \max (P(x) - Po(x))$$

La prueba es fácil de realizar y comprende las siguientes etapas:

D_n es la máxima diferencia entre la función de distribución acumulada de la muestra y la función de distribución acumulada teórica escogida.

Se fija el nivel de probabilidad, valores de 0.05 y 0.01 son los más usuales.

El valor crítico D_α de la prueba debe ser obtenido en la Tabla 21, en función del nivel de significancia α y el tamaño de la muestra n .

Si el valor calculado D_n es mayor que el D_α , la distribución escogida se debe rechazar.

Tabla 21
Prueba de Smirnov-Kolmogorov.

Tamaño de la muestra	Nivel de Significancia α				
	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010
n	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010
1	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.900	0.929
3	0.565	0.636	0.708	0.689	0.829
4	0.493	0.565	0.624	0.689	0.734
5	0.477	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.410	0.468	0.519	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.359	0.410	0.454	0.507	0.542
9	0.339	0.387	0.430	0.480	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.486
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.295	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.390	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352
25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
30	0.190	0.218	0.242	0.270	0.290
40	0.165	0.189	0.210	0.235	0.252
n grande	$1.07/n^{1/2}$	$1.22/n^{1/2}$	$1.36/n^{1/2}$	$1.52/n^{1/2}$	$1.63/n^{1/2}$

El análisis se realizó mediante la aplicación del software HIDROESTA (Método de Parámetros Ordinarios).

Tabla 22
Prueba de Smirnov-Kolmogorov.

Distribución	Delta
Gumbel	0.080
Lognormal	0.125
Pearson Tipo III	0.047
Menor valor	0.047

Datos:

$$N=47 \quad D_{\alpha}=0.198$$

$$\alpha=0.05 \quad D_n < D_{\alpha}$$

Nos da como resultado, que la distribución Pearson Tipo III es la indicada para trabajar en los cálculos hidrológicos.

Obtenido la intensidad de precipitación (en unidades de mm/hr), se calcula el caudal entrante en un área determinada haciendo uso del Método Racional.

4.2.5 METODO RACIONAL

El Método Racional es uno de los modelos hidrometeorológico más usados para la estimación del caudal máximo en relación con la lluvia de diseño, determinado en un periodo de retorno. Se utiliza en los diseños de obras de drenaje urbano y rural. El método racional se recomienda usar en cuencas con extensiones inferiores a las 200 Ha.

La expresión utilizada es:

$$Q = \frac{C.I.A}{360}$$

Dónde:

Q: Caudal máximo ($\frac{m^3}{s}$)

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad de la lluvia de diseño, que tiene igual de duración al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al periodo de retorno seleccionado para el diseño (mm/h)

A: Área de la Cuenca (Ha)

4.2.5.1 ANALISIS DE INTENSIDAD DE LLUVIA DE DURACIONES CORTAS

Este análisis incide directamente en el aporte máximo de escorrentía que deberán soportar las obras de canalización para el sistema de drenaje.

En base a los valores obtenidos de las precipitaciones y el tiempo de concentración se han generado las intensidades máximas mediante la expresión del Soil Conservation Service (SCS) para las microcuencas en estudio.

$$I_{TR} = \frac{0.280049 * Pp_{TR}}{T_C^{0.6}}$$

Dónde:

ITR = Intensidad máxima de lluvia para un tiempo de retorno (mm/hr)

PpTR = Precipitación máxima 24 horas para un TR (mm)

Tc = Tiempo de concentración (horas)

4.2.5.2 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

Parámetro fundamental en la Hidrología superficial; ya que este valor indica el volumen en que se convertirá en caudal. Es la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el de la precipitación total en un área o cuenca determinada:

$$C = \frac{\text{Volumen de Escorrentia Superficial}}{\text{Volumen de Precipitacion Total}}$$

Como ejemplo, podríamos decir que una zona con árboles y poca pendiente posee un $C = 0.55$, equivale a decir que, de 100 litros por metro cuadrado de precipitación, 55 litros escurrirá por la superficie (y se convertirá en caudal) y el resto se puede filtrar, evaporar, etc.

Se deduce que el valor máximo que toma este coeficiente es 1. Este caso se podría dar en un tipo de suelo o superficie que es totalmente impermeable. Es muy improbable que exista un tipo de superficie con esa característica.

Se debe tener cuidado con la selección de este coeficiente de escorrentía ya que éste se mantiene constante en toda el área drenante. Otro problema que hay, es la gran heterogeneidad de superficie; para este caso se debe de zonificar el área y hacer un estudio para cada zona.

4.2.5.3 TIEMPO DE CONCENTRACION

Se considera como el tiempo que tarda toda el área drenante en contribuir a la escorrentía en la sección de salida. El tiempo que transcurre entre el cese de la lluvia y el final de la escorrentía equivale al tiempo de concentración.

Se ha desarrollado una fórmula (Kirpich), para calcular el tiempo de concentración:

$$T_c = 0.0003245 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \text{ (En horas)}$$

Dónde:

L: Longitud máxima del canal o río desde aguas arriba hasta la salida (m).

S: Pendiente del cauce, o H/L (m/m) donde H es la diferencia de elevación entre el punto más elevado y el punto de interés.

4.2.6 PERIODO DE RETORNO

Es el tiempo medio entre dos sucesos asociados a una probabilidad. Es decir, es el tiempo en el cual puede suceder un evento superior a uno establecido.

Por ejemplo, para la sismología, el periodo de retorno es el tiempo medio entre dos terremotos de gran escala. Para la hidrología, es el tiempo medio entre dos precipitaciones máximas.

El periodo de retorno es un valor muy importante para realizar el diseño de estructuras de ingeniería, ya que permite predecir parámetros mínimos y máximos.

Para la investigación, según la “Guía Para la Elaboración de Planes de Cierre de Minas”, se indica usar un periodo de retorno de 500 años para las estructuras de alto riesgo.

4.2.7 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Para hallar el coeficiente de escorrentía, se usan tablas de diferentes autores que han hecho pruebas y calculado el coeficiente. Al respecto, señala Chow (1994) que el coeficiente de escorrentía (C) es la variable menos precisa para el cálculo del caudal de diseño.

En el presente estudio se tomó como coeficiente de escorrentía el valor de $n=0.45$ el cual corresponde a pastos semipermeables con una pendiente entre 20-50%, cuando cada componente presente su cobertura final.

Tabla 23
Coefficiente de Escorrentía Benítez, 1980

Cobertura vegetal	Tipo de Cobertura	Pendiente				
		>50%	20-50%	5-20%	1-5%	0-1%
Sin Vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.55	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos Vegetación Ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
<u>Hierba</u> , <u>Gramas</u>	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	<u>Semipermeable</u>	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque Denso de Vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

4.2.8 ÁREA DE IMPLUVIO Y DRENAJE NATURAL DEL AGUA

El área de impluvio es la superficie de captación de aguas de lluvia la cual aporta directamente a la zona de estudio. Es decir, es la superficie que proporcionará el agua que será evacuada por la construcción de canales. Para determinar el trazo de los canales se realizó una simulación con Water Drop una herramienta de análisis de superficies de Civil 3D para determinar el flujo natural de las aguas de lluvia.

4.2.9 CÁLCULOS HIDRAULICOS

La sección de los canales fueron determinados utilizando ecuaciones de flujo uniforme con el flujo pico que ocurra en el extremo aguas debajo de cada tramo. El borde libre en tramos de pendiente muy empinada y el talud de los canales fueron definidos de acuerdo con los criterios recomendados por el

U.S. BUREAU OF RECLAMATION y La secretaria de Recursos Hidráulicos de México de acuerdo al caudal utilizado.

4.2.10 CUNETAS DE EVACUACION, DERIVACION Y CORONACION DEL DEPÓSITO DE MATERIAL DE DESBROCE

La tabla siguiente muestra el resumen de las dimensiones de cada uno de los canales del DMB así como el tipo de revestimiento. El cálculo hidráulico de los canales se muestra en la tabla 24.

Tabla 24
Cálculo de Caudales

Item	Descripción de Canal	Trazo	Progresiva		Periodo de Retorno	Precipitación máx en 24 horas (mm)	Tiempo de Concentración (h)	Intensidad de lluvia (mm/hr)	Coeficiente de Escorrentía (adim)	Área (Ha)	Caudal de diseño (m³/s)
			Desde	a							
1	Cuneta de Evacuación en Banquetas	C1	0+000	0+298.16	500	119	0.067	169.3	0.45	0.25	0.05
2	Cuneta de Evacuación en Banquetas	C2	0+000	0+329.96	500	119	0.067	169.3	0.45	0.20	0.04
3	Cuneta de Evacuación en Banquetas	C3	0+000	0+375.95	500	119	0.067	169.3	0.45	0.55	0.12
4	Cuneta de Evacuación en Banquetas	C4	0+000	0+398.54	500	119	0.067	169.3	0.45	0.24	0.05
5	Cuneta de Evacuación en Banquetas	C5	0+000	0+424.81	500	119	0.067	169.3	0.45	0.10	0.02
6	Cuneta de Evacuación en Dique	C6	0+000	0+152.30	500	119	0.067	169.3	0.45	0.41	0.09
7	Cuneta de Evacuación en Dique	C6	0+166.98	0+457.78	500	119	0.067	169.3	0.45	1.13	0.24
8	Cuneta de Evacuación a pie de Dique	C7	0+000	0+71.24	500	119	0.067	169.3	0.45	0.11	0.02
9	Cuneta de Evacuación a pie de Dique	C7	0+75.63	0+367.54	500	119	0.067	169.3	0.45	0.35	0.07
10	Cuneta Derivación	C8	0+000	0+197.28	500	119	0.067	169.3	0.45	3.19	0.68
11	Cuneta Coronación	C9	0+000	0+300.93	500	119	0.067	169.3	0.45	1.02	0.22
12	Cuneta Coronación	C9	0+590	0+806.36	500	119	0.067	169.3	0.45	2.54	0.54

Tabla 25
Diseño de las cunetas de evacuación, derivación y coronación

De	A	Tipo De Sección	Base (m)	Talud Izq. (H:1V)	Talud Der. (H:1V)	Altura (m)	Tipo De Revestimiento	Espesor (m)
Trazo 1 Cuneta de Evacuación 1								
0+00	0+98.52	Trapezoidal	0.30	1	1	0.25	Mampostería	0.10
0+100.84	0+298.16	Trapezoidal	0.30	1	1	0.25	Mampostería	0.10
Trazo 2 Cuneta de Evacuación 2								
0+00	0+105.96	Trapezoidal	0.30	1	1	0.25	Mampostería	0.10
0+109.29	0+329.96	Trapezoidal	0.30	1	1	0.25	Mampostería	0.10
Trazo 3 Cuneta de Evacuación 3								
0+00	0+111.51	Trapezoidal	0.30	1	1	0.30	Mampostería	0.10
0+113.84	0+375.95	Trapezoidal	0.30	1	1	0.30	Mampostería	0.10
Trazo 4 Cuneta de Evacuación 4								
0+00	0+113.25	Trapezoidal	0.30	1	1	0.25	Mampostería	0.10
0+115.59	0+398.54	Trapezoidal	0.30	1	1	0.25	Mampostería	0.10
Trazo 5 Cuneta de Evacuación 5								
0+00	0+117.83	Trapezoidal	0.30	1	1	0.25	Mampostería	0.10
0+120.15	0+424.81	Trapezoidal	0.30	1	1	0.25	Mampostería	0.10
Trazo 6 Cuneta de Evacuación entre diques								
0+00	0+152.30	Trapezoidal	0.30	1	1	0.25	Mampostería	0.10
0+166.98	0+457.78	Trapezoidal	0.30	1	1	0.30	Mampostería	0.10
Trazo 7 Cuneta de Evacuación al pie del dique de retención								
0+00	0+71.24	Trapezoidal	0.30	1	1	0.30	Mampostería	0.10
0+75.63	0+367.54	Trapezoidal	0.30	1	1	0.30	Mampostería	0.10
Trazo 8 Cuneta de Derivación								
0+00	0+197.28	Trapezoidal	0.30	1	1	0.30	Mampostería	0.10
Trazo 9 Cuneta de Coronación								
0+00	0+300.93	Trapezoidal	0.30	1	1	0.30	Mampostería	0.10
0+304.93	0+806.36	Trapezoidal	0.60	1	1	0.30	Mampostería	0.10
0+590	0+806.36	Trapezoidal	0.30	1	1	0.30	Mampostería	0.10

4.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO

El DMB contará con más de 1 millón de metro cúbicos de desbroce, para la evaluación de la estabilidad se usará la Tabla 26, en la cual se presenta un esquema semi-cuantitativo para evaluar el potencial relativo de la estabilidad, basado en las evaluaciones puntuales para cada uno de los principales factores que afectan la estabilidad. A cada factor se le asigna una calificación puntual basada en descripciones cualitativas y/o cuantitativas que explican el posible rango de condiciones. Se calcula un índice global (DSR) como la suma de las clasificaciones

individuales para cada uno de los diversos factores, siendo el DSR máximo posible 1800.

Debe reconocerse que el comportamiento de un depósito, y el potencial de inestabilidad, dependen de una amplia gama de factores diversos e interrelacionados. No todos estos factores se prestan a la evaluación cuantitativa de una manera sencilla. Por consiguiente, cualquier esquema global de clasificación de la estabilidad de los depósitos será parcialmente subjetivo. Del mismo modo, ningún esquema de calificación puede esperar para evaluar de manera realista todas las permutaciones posibles. El sistema de calificación presentado en la Tabla 26 tiene por objeto establecer un equilibrio razonable entre el rango de aplicabilidad y la facilidad de uso. Como se mencionó anteriormente, este es un nuevo concepto, sujeto a pruebas, verificación y calibración.

Fuente: *“Investigation and Design of Mine Dumps”*- PAE Ltd,1991

Tabla 26

ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN PARA ESTABILIDAD DE DEPÓSITOS				
FACTORES CLAVE PARA LA ESTABILIDAD			RANGO DE CONDICIONES O DESCRIPCIONES	CALIFICACIÓN (DSR)
CONFIGURACIÓN DEL DEPÓSITO	Altura		< 50 m	0
			50 m - 100 m	50
			100 m - 200 m	100
			> 200 m	200
	Volumen	Pequeño	< 1 millón de metros cúbicos	0
		Medio	1 - 50 millones de metros cúbicos	50
		Grande	> 50 millones de metros cúbicos	100
	Talud	Plano	< 26°	0
		Moderado	26° - 35°	50
		Inclinado	> 35°	100
TALUD DE NIVEL DE CIMENTACIÓN		Plano	< 10°	0
		Moderado	10° - 25°	50
		Inclinado	25° - 32°	100
		Muy inclinado	> 32°	200
NIVEL DE CONFINAMIENTO		Confinado	Talud cóncavo en planta o sección	0
			Relleno de valle y/o a través del valle, la base del depósito se apoya en un dique o al talud del nivel de cimentación	
			Quebradas encajonadas que podrían limitar el talud del nivel de cimentación durante el desarrollo	
		Moderado	Bancos naturales o terrazas en el talud	50
			Taludes parejos, limitados por la topografía	
			Relleno en terraza, de ladera, de valle o a través de valle	
		No confinado	Talud convexo en planta o sección	100
			Relleno de media ladera o de cresta con la base no confinada	
			No hay bancos para apoyar el desarrollo	
TIPOS DE NIVEL DE CIMENTACION		Competente	Cuando los materiales son fuertes o más fuertes que los materiales del depósito	0
			No sujeto a presiones de poros adversos	
			No hay presencia de estructuras geológicas adversas	
		Intermedia	Materiales de competentes a débiles	100
			Incremento de resistencia de los suelos con la consolidación	
			Presiones de poro se controla con el ratio de la descarga	
		Débil	Capacidad limitada, suelos blandos	200
			Sujeto a la generación de presiones de los poros durante el desarrollo	
			Condiciones adversas por la presencia de agua subterránea y/o filtraciones	
			Resistencia sensitiva a la deformación por corte, potencialmente licuable	
Calidad de material del		Alto	Resistente y durable	0

depósitos		Menos que el 10% son finos	
	Media	Moderadamente resistente, durabilidad variable	100
		10 a 25% de finos	
	Pobre	Predominante rocas débiles o baja dureza.	200
		Mayor al 25% de finos	
Métodos de construcción	Favorable	Capas delgadas (<25 m de espesor), plataforma anchas	0
		Descargando a lo largo de los contornos (mismo nivel)	
		Construcción ascendente	
		Vueltas alrededor de la terraza	
		Bancos naturales o terrazas en el talud	
	Combinado	Capas moderadas (25m - 50m)	100
		Métodos de construcción mixto	
	Desfavorable	Capas gruesas (> 50 m) plataforma estrecha	200
		Descargando desde la cresta	
		Construcción descendente	
Piezometría y Condiciones Climatológicas	Favorable	Presiones piezométricas bajas, no hay filtración en el nivel de cimentación	0
		Improbable desarrollo de superficies freáticas en el depósito	
		Precipitación limitada	
		Mínima infiltración en el interior del depósito	
		Sin capas de nieve/hielo en el depósito o en nivel de cimentación	
	Intermedia	Presiones piezométricas moderadas, alguna filtración en nivel de cimentación	100
		Posible desarrollo limitado de superficies freáticas en el depósito	
		Precipitaciones moderadas	
		Elevadas infiltraciones en el interior del depósito	
		Nevadas intermitentes o lentes de hielo en el depósito	
	Desfavorable	Elevadas presiones piezométricas, ojos de agua en el nivel de cimentación	200
		Elevadas precipitaciones	
		Potencial significativo para desarrollar superficies freáticas o niveles de agua colgados en el depósito	
		Capas de hielo en el depósito o en el nivel de cimentación	
Tamaño de Descarga	Lento	< 25 metros cúbicos por metro lineal de cresta por día	0
		El ratio de avance de cresta < 0.1 m por día	
	Medio	25 a 200 metros cúbicos por metro lineal de la cresta por día	100
		El ratio de avance de cresta varía entre 0.1 m - 1.0 por día	
	Alto	> 200 metros cúbicos por metro lineal de cresta por día	200
		Avance de cresta > 1.0 m por día	
Riesgo Sísmico	Bajo	Riesgo Sísmico en Zonas 0 y 1	0
	Medio	Riesgo Sísmico en Zonas 2 y 3	50
	Alto	Riesgo Sísmico en Zonas 4 y mas	100

Tabla 27

CLASES DE ESTABILIDAD Y RECOMENDACIONES DE ESFUERZO			
CLASE DE ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO	PELIGRO DE FALLA	NIVEL RECOMENDADO DE ESFUERZO PARA INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	DSR
I	Mínimo	Reconocimiento básico, línea base de documentación	< 300
		Pruebas de laboratorio mínimas	
		Chequeo de rutina para controlar la estabilidad.	
		Restricciones mínimas en la construcción	
		Solo monitoreo visual	
II	Bajo	Investigación del lugar	300 - 600
		Puede requerir calicatas para el muestreo	
		Ensayos de laboratorio para determinar las propiedades índices	
		La estabilidad puede o no influenciar en el diseño	
		Análisis básicos de estabilidad requeridos	
		Restricciones limitadas en la construcción	
III	Moderado	Rutina visual y monitoreo instrumental	600 - 1200
		Investigación del lugar detallado y por fases	
		Calicatas, perforación o cualquier otra prueba de subsuelo podría ser requerida	
		Podría ser necesario la toma de muestras no alteradas	
		Probablemente se requiera ensayos de laboratorio detallados, incluyendo propiedades índices, resistencia al corte y dureza	
		Influencia de la estabilidad en el diseño	
		Análisis de estabilidad detallados, posiblemente incluyendo estudios paramétricos	
		Restricciones moderadas en la construcción (ratio de descarga limite, espesor de la capa, calidad del material, etc.)	
IV	Alto	Instrumentación detallada para confirmar el diseño, comportamiento y establecimiento de límites de carga	> 1200
		Detalle de la fase investigativa	
		Calicatas y posiblemente trincheras	
		Perforación y posiblemente otras investigaciones del subsuelo	
		Muestreo no alterado probablemente requerido	
		Probablemente se requiera ensayos de laboratorio detallados, incluyendo propiedades índices, resistencia al corte y dureza	
		Consideraciones de estabilidades máximas	
		Análisis de estabilidad detallados, probablemente incluyendo estudios paramétricos y una evaluación completa de las alternativas	
		Ciertas restricciones en la construcción (limitación de descarga de relleno, espesor de las capas, calidad del material, etc.)	
		Monitoreo detallado de la instrumentación para confirmar el diseño, comportamiento y establecimiento de limite en las descarga	

4.3.1 APLICACIÓN DE ESQUEMA DE ESTABILIDAD

Para el DMB, se cuenta con los siguientes puntos:

Tabla 28
Resultados de DSR

FACTORES CLAVES		RANGO DE CONDICIONES	DSR
CONFIGURACIÓN DEL DEPÓSITO	Altura	< 50 m	0
	Volumen	1 - 50 millones de metros cúbicos	50
	Talud	< 26°	0
TALUD DE NIVEL DE CIMENTACIÓN		10° - 25°	50
NIVEL DE CONFINAMIENTO		Relleno de valle y/o a través del valle, la base del depósito se apoya en un dique o al talud del nivel de cimentación	0
TIPO DE NIVEL DE CIMENTACIÓN		Cuando los materiales son fuertes o más fuertes que los materiales del depósito	0
CALIDAD DE MATERIAL DEL DEPÓSITO		Mayor al 25% de finos	200
MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN		Capas delgadas (<25 m de espesor), plataforma anchas	0
PIEZOMETRÍA Y CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS		Mínima infiltración en el interior del depósito	0
TAMAÑO DE DESCARGA		< 25 metros cúbicos por metro lineal de cresta por día	0
RIESGO SÍSMICO		Riesgo Sísmico en Zonas 2 y 3	50
TOTAL			350
CLASE DE ESTABILIDAD			II - BAJO

Según la tabla, el peligro de falla del depósito es BAJO (Clase II). Como recomendaciones, nos indica la realización de calicatas para realizar muestreo, ensayos de laboratorio y análisis básico de estabilidad principalmente, las cuales, se tratan en el presente trabajo.

CAPITULO 5. DISEÑO CIVIL DEL DMB

5.1 GENERALIDADES

Para maximizar la capacidad del DMB y lograr una estabilidad permanente, se realizaron los siguientes trabajos: sistema de subdrenaje, dique de arranque y retención, configuración general de materiales, aliviadero de emergencia, sistema de colección de aguas superficiales y poza de monitoreo de subdrenaje

5.2 DISEÑO CIVIL

El DMB tiene la capacidad para almacenar aproximadamente 1'140,000 m³ de material proveniente de las excavaciones masivas. Este depósito abarca un área de aproximadamente 112,100 m² (hasta el límite de corte y/o relleno) y alcanza una elevación final de apilamiento ubicada en la cota 3,927 msnm.

Actualmente los taludes de diseño tienen 3H: 1V, 3.5H:1V y 4.5H:1V, con banquetas de 15 metros de ancho. El talud medio del depósito es de 5H: 1V. Adicionalmente, se consideró apilar las capas con ligeras pendientes de tal forma de proveer banquetas con pendiente longitudinal.

La configuración final del depósito cumple con los siguientes objetivos:

- Un diseño basado en los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad, que fueron desarrollados en base a los parámetros geotécnicos obtenidos en las investigaciones de campo y en los resultados de los ensayos de laboratorio.
- Permite maximizar la capacidad de almacenamiento evitando el aumento de su área superficial.
- La longitud del ancho de berma permite un constante monitoreo geotécnico y geoquímico de todo el DMB

5.3 MOVIMIENTOS DE TIERRA

Se llevó a cabo la remoción de material orgánico sobre todo el DMB, mientras que la remoción de desbroce, tendrá lugar únicamente en los límites definidos por el pie de talud del dique de retención.

5.4 DIQUE DE ARRANQUE Y RETENCIÓN

El trabajo inicial fue diseñar el dique de arranque al pie del DMB con la finalidad de empezar el apilamiento y evitar que los materiales apilados puedan caer por el talud del depósito durante su conformación. Posteriormente se levantaría el dique de retención para la continuación de colocación de desbroce. Gracias a este segundo dique, se colocará 79,950 m³ de desmonte de mina. Se maximiza la capacidad del depósito.

El talud de ambos diques es 2H:1V, y altura máxima de 12 m sobre la parte más baja de dique y una cota de cresta de 3887msnm. Tiene un ancho de cresta de 6 m.

Se puso un borde libre de 1 m en el dique arranque y la construcción de una cuneta de drenaje de agua de escorrentía superficial, a fin de eliminar la posibilidad de ocurrencia del desbordamiento del dique, por el flujo de agua acumulada.

Para esta remoción y perfilado de desbroce se tuvo los siguientes volúmenes:

Tabla 29
Remoción y Perfilado de DMB

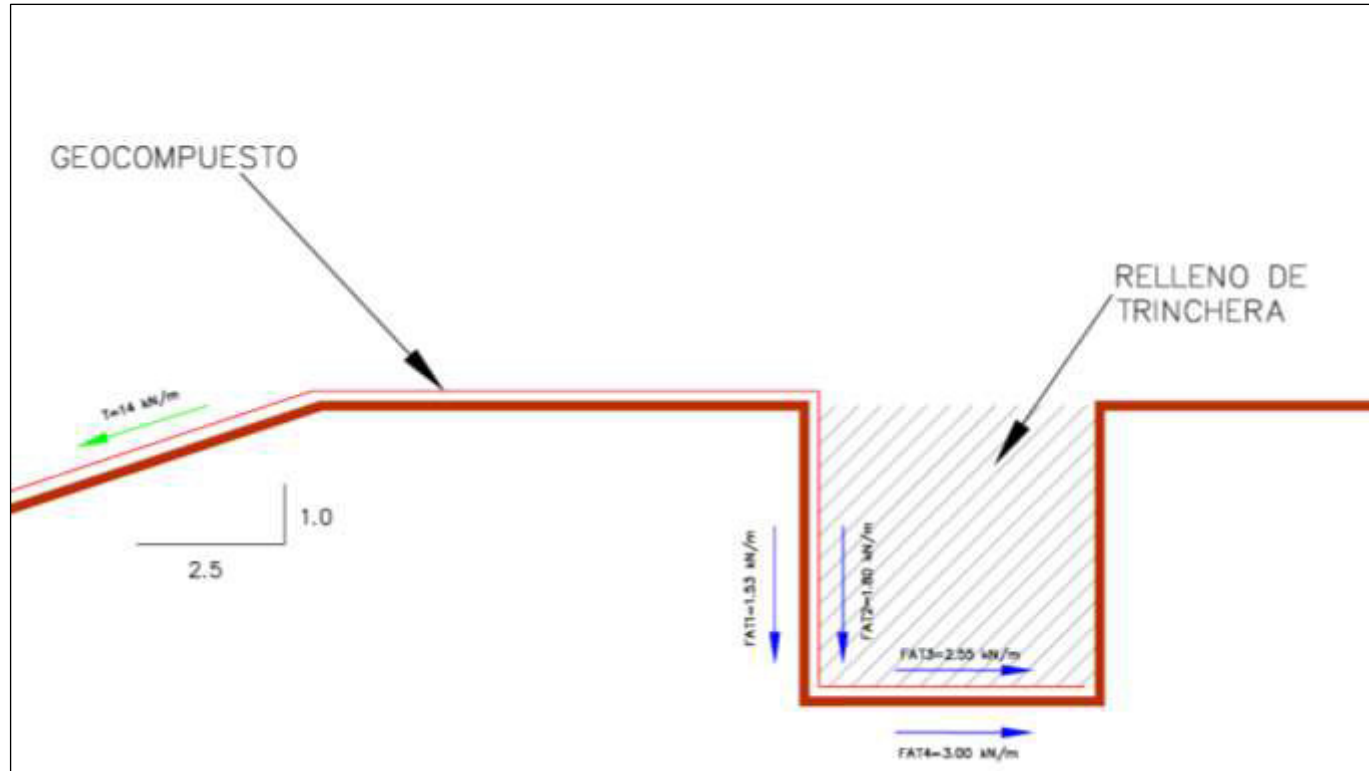
Descripción	Volumen (m ³)
Corte de desbroce	152,550
Colocación de desbroce	150,530
Construcción del dique de Retención	79,950

DIMENSIONAMIENTO DE LAS TRINCHERAS DE ANCLAJE CON EL GEOMEMBRANA:

1	Relleno	Cantidad	Unidad
1.1	Peso unitario del relleno (γ)	20	kN/m ³
1.2	Coefficiente de empuje en reposo (K_0)	0.6	

2 Revestimiento		
2.1	Espesor geomembrana (t_1)	11 mm
2.2	Resistencia a la fluencia geomembrana (σ_{yT})	14 kN/m
2.3	Resistencia Horizontal	13 kN/m
3 Ángulos de Fricción		
3.1	Relleno de la trinchera	33 grados (°)
3.2	Relleno-geomembrana (δ_1)	27
3.3	Sub-rasante	37 grados (°)
3.4	Geomembrana-suelo (δ_2)	31
4 Trinchera de Anclaje		
4.1	Profundidad (d_{AT})	0.5 m
4.2	Anclaje horizontal (W_{AT})	0.5 m
4.3	Profundidad promedio (H)	0.5 m
5 Cálculos		
5.1	Geomembrana - relleno	
	$F_{AT1} = K_o * \gamma * H * Tg(\delta_1) * d_{AT}$	1.53 kN/m
5.2	Subrasante - Geomembrana	
	$F_{AT2} = K_o * \gamma * H * Tg(\delta_2) * d_{AT}$	1.80 kN/m
5.3	Geomembrana - Relleno (Horizontal)	
	$F_{AT3} = \gamma * d_{AT} * Tg(\delta_1) * W_{AT}$	2.55 kN/m
5.4	Subrasante - Geomembrana (Horizontal)	
	$F_{AT4} = \gamma * d_{AT} * Tg(\delta_2) * W_{AT}$	3.00 kN/m
5.5	Factor de Seguridad de Geomembrana	
	$FS = K_o * \gamma * H * Tg(\delta_1) * d_{AT}$	1.58

**Figura 11 :
DIMENSIONAMIENTO DE LAS TRINCHERAS DE ANCLAJE CON EL GEOMEMBRANA:**



5.5 CAMINO DE ACCESO

La cresta del dique de retención ha sido dimensionada para que opere como camino de acceso vehicular para inspecciones rutinarias. El ancho del acceso es de 6 m libres más bermas de seguridad, a fin de permitir el tránsito vehicular. El acceso consta de una capa de rodadura de 200 mm de espesor, y cuenta con un plan de mantenimiento periódico de acuerdo con las condiciones de trabajo.

La capa de rodadura del acceso mantiene una ligera inclinación transversal (aproximadamente 2%), para derivar el agua de escorrentía superficial fuera de la capa de rodadura del acceso hacia el talud aguas arriba del dique, con dirección a la cuneta de drenaje de aguas superficiales.

Por razones de seguridad, se ha colocado bermas de 500 mm de altura y taludes de 1.5H:1V a ambas márgenes del acceso. Asimismo, se deberán hacer aberturas en la berma de seguridad no tan espaciadas para permitir el drenaje de agua de escorrentía superficial del acceso hacia el talud adyacente.

5.6 SISTEMA DE SUBDRENAJE

El sistema de subdrenaje tiene por finalidad captar los flujos de agua subterránea que se originen dentro de los límites del depósito y la escorrentía que se origine por el agua contenida dentro del mismo desbroce, para posteriormente derivar los flujos hacia fuera de los límites del área de influencia del depósito.

El sistema de subdrenaje está conformado por una red de tuberías perforadas de pared doble de 450, 300 y 200 mm de diámetro, dispuestas siguiendo el esquema denominado “espina de pescado”. Tanto los drenes principales como los drenes secundarios están confinados en una zanja trapezoidal de 500 mm de profundidad (mínimo) y ancho variable en función al diámetro de la tubería, que serán

rellenadas con grava para drenaje, y encapsuladas en geotextil no tejido. Los subdrenes principales estan conformados por tuberías perforadas de pared doble de 450 y 300 mm de diámetro, y están instalados en las zonas más bajas que existan dentro de los límites del depósito. *Ver Plano 02 – Sistema de Subdrenaje*

5.7 ALIVIADERO DE DEMASÍAS

El aliviadero de demasías es una estructura que ha sido proyectada para evacuar las aguas de escorrentía procedentes de un evento máximo de tormenta y que discurren por los taludes del apilamiento.

A fin de eliminar la posibilidad de ocurrencia del desbordamiento del dique, por el flujo de agua que se acumule en el depósito, se ha previsto un borde libre de 1.0 m en el dique de retención y la construcción de una cuneta de drenaje de agua de escorrentía superficial. Los flujos serán conducidos por la cuneta y serán descargados por un aliviadero de sección trapezoidal hacia la poza de monitoreo de subdrenaje.

El aliviadero tiene un ancho de base de 5 m y una profundidad variable, con taludes laterales de 10H:1V de tal manera de permitir el tránsito de vehículos por la cresta del dique de retención y a su vez, facilitar la descarga de los excesos de flujos provenientes de las escorrentías. Asimismo, el badén se encuentra revestido con una losa de concreto armado de $f'c=210$ kg/cm² de 200 mm de espesor, y una capa de suelo de baja permeabilidad compactada de 300 mm de espesor mínimo.

El aliviadero se ubica en la estación 0+330 del dique de retención al pie del DMB y se extiende hasta descargar sus aguas sobre la poza de subdrenaje respectiva.

5.8 COLOCACION DE DESBROCE

El DMB es de tipo relleno en ladera o por volteo. Este tipo de depósito aprovecha la diferencia de cotas en que se encuentra el lugar de asentamiento. A continuación, se enumera la manera de apilamiento de desbroce:

- Los camiones volquetes trasladaran el desbroce del Pad de Lixiviación, Botadero de Desmonte, Botadero de Material Orgánico, entre otros, por el camino existente hasta la parte superior del DMB (Figura 12).
- Los volquetes descargarán hasta conformar una superficie plana donde se pueda realizar una plataforma de vaciado (Figura 13) hacia el dique de contención (parte baja del DMB).
- Posteriormente, la retroexcavadora se encarga de realizar el camino de acceso que bordea todo el depósito para realizar el respectivo banqueo del desbroce (Figura 14).

Figura 12
Camino existente hacia el DMB



Figura 13
Plataforma del DMB

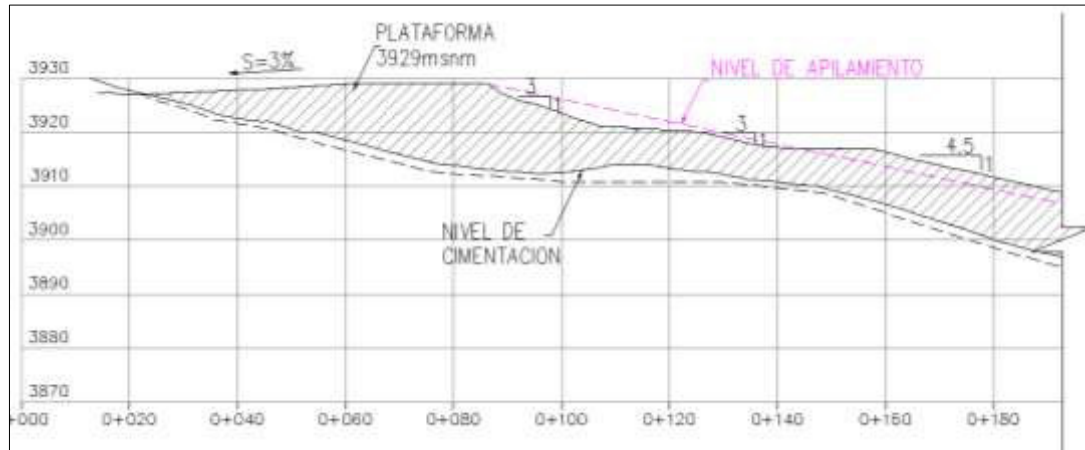


Figura 14
Trabajos con la retroexcavadora



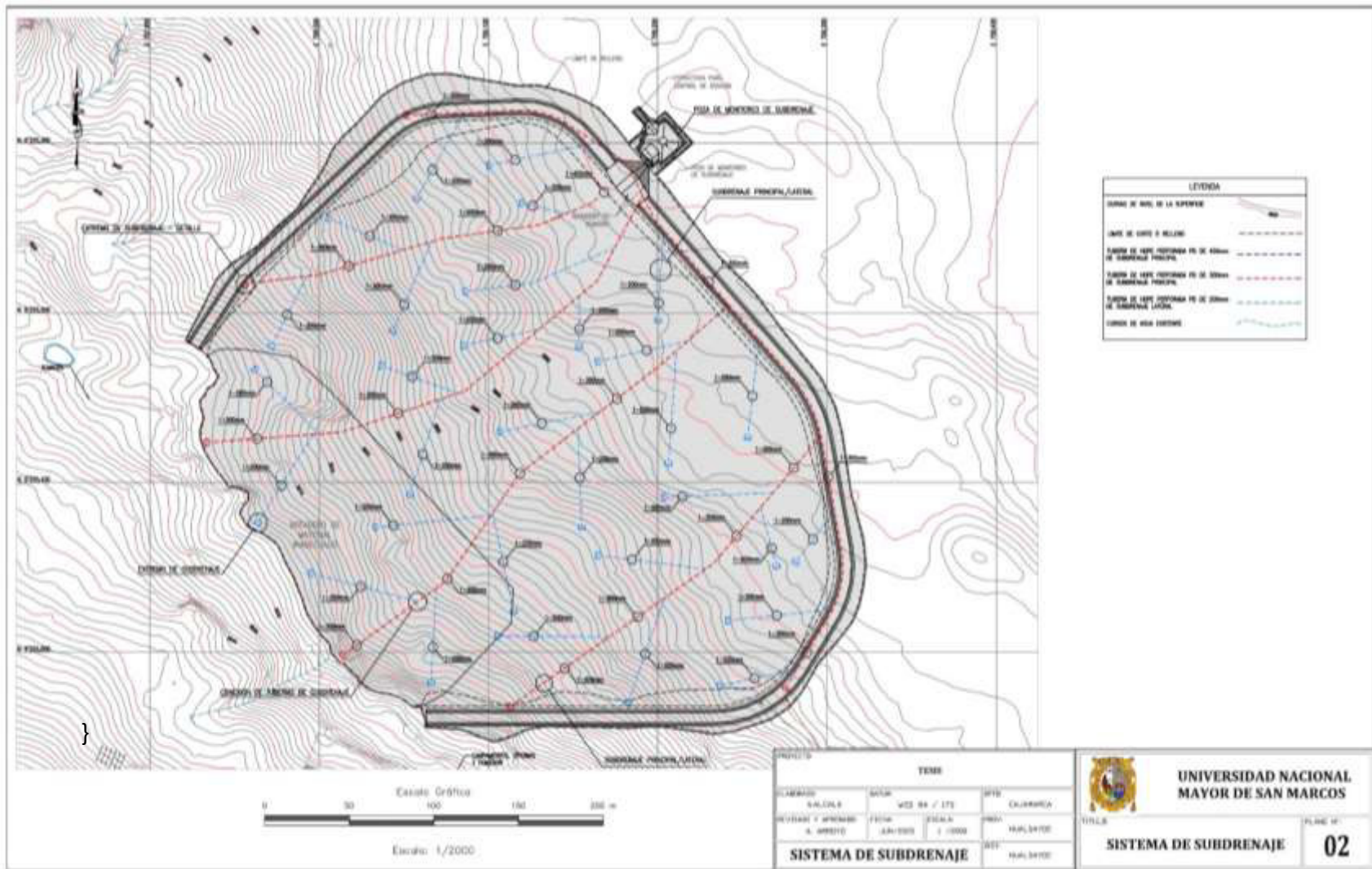
5.9 CANAL DE CORONACION

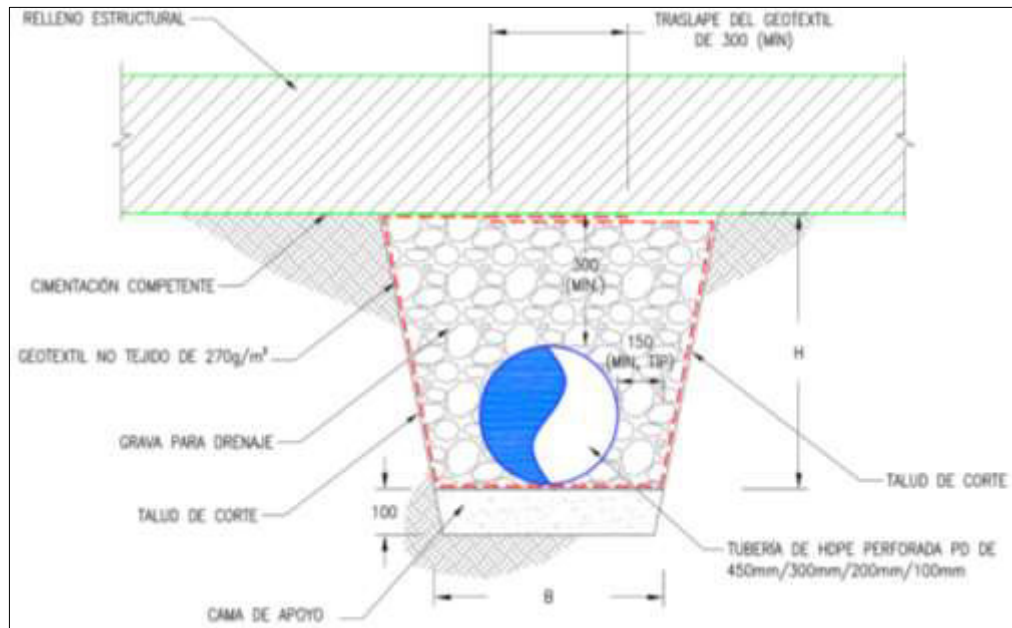
El canal de coronación colecta el flujo de escorrentía superficial de las laderas aguas arriba del depósito para ello, se ha considerado una cuneta de coronación

de sección trapezoidal, con taludes laterales de 1H: 1V, y un revestimiento con piedra y mortero (tipo emboquillado) para prevenir daños por erosión.

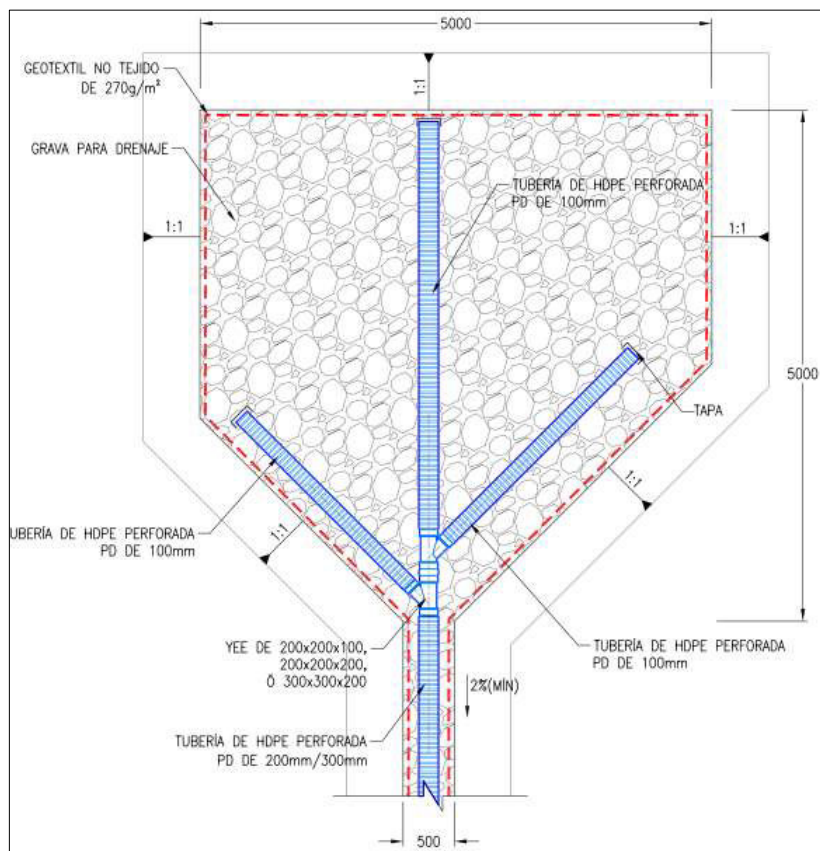
La cuneta requerirá una inspección periódica y mantenimiento durante la operación. Esta inspección deberá incluir caminatas a lo largo del canal con la finalidad de detectar tramos en los cuales el revestimiento haya sido dañado o alterado, de manera que se efectúen las reparaciones necesarias.

En cada punto de descarga del flujo de escorrentía superficial conducido por los canales de coronación, se ubican estructuras para el control de erosión y sedimentos, cuyo diseño ha sido incluido en este estudio. A partir de esta estructura, el flujo seguirá los cauces naturales del terreno existente.





A DETALLE DE SUBDRENAJE PRINCIPAL Y SECUNDARIO



B SUBDRENAJE PRINCIPAL Y SECUNDARIO - PLANTA

5.10 MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL Y DE COBERTURA EN EL DMB

El sistema de manejo de aguas en el DMB, comprende un sistema de cunetas de evacuación, derivación y coronación; y cobertura de las áreas faltantes dentro de todo el depósito.

5.10.1 SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL CON CUNETAS DE EVACUACIÓN

Con el objetivo de evacuar las aguas de escorrentía al DMB se propone la construcción de cunetas de evacuación de mampostería de piedra como sistema de drenaje superficial, evacuando las aguas de escorrentía a través de este sistema a la cuneta de coronación o al canal de derivación hasta una caja de retención y luego al aliviadero de demasías, la cual descarga sus aguas a la poza de monitoreo de subdrenaje.

Adicionalmente a estas también se construirán cunetas de evacuación en el espacio existente entre los diques de arranque y retención y al pie del dique de arranque. Estas cunetas llevarán sus aguas a la poza de monitoreo de subdrenaje para luego ser bombeadas a la planta de tratamiento de aguas ácidas.

Las cunetas han sido diseñadas para conducir con seguridad el flujo pico generado por la tormenta de diseño de 24 horas para un periodo de retorno de 500 años. La pendiente promedio de las cunetas están especificadas en los planos. Para prevenir la erosión del canal, se propone que el revestimiento del canal con mampostería de piedra. El enrocado ha sido diseñado para soportar satisfactoriamente sin erosionarse el flujo pico, el canal posteriormente requerirá de mantenimiento correctivo.

Las dimensiones de las cunetas son de taludes laterales de 1.0H:1.0V y una profundidad total de 0,25 m. El canal será excavado en el terreno de tierra orgánica. El espesor del revestimiento será de no menos de 0,10 m. El tamaño promedio de la roca del revestimiento será de 0,15 m (6").

Adicionalmente se propone la construcción de cunetas de sección trapezoidal en gran parte del perímetro del depósito (cunetas de coronación) a un lado del acceso, estas se detallan en los planos con sus respectivas especificaciones técnicas. Estas cunetas perimetrales serán de mampostería de piedra y descargarán sus aguas a una caja de retención.

5.10.2 SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL CON UN CUNETA DE DERIVACIÓN

Con el objetivo de recolectar las aguas de escorrentía de las cunetas de evacuación se propone la construcción de un canal de derivación perpendicular al sistema de cunetas. Esta cuneta de derivación dispondrá las aguas a una caja de retención y posteriormente a un aliviadero de demasías.

El canal ha sido diseñado para conducir con seguridad el flujo pico generado por la tormenta de diseño de 24 horas de 500 años de período de retorno. Para prevenir la erosión del canal, se propone que el revestimiento del canal sea con mampostería de piedra. El enrocado ha sido diseñado para soportar satisfactoriamente sin erosionarse el flujo, el canal posteriormente requerirá de mantenimiento correctivo.

Las dimensiones del canal son de 0,30 m de base, con taludes laterales de 1.0H:1.0V y una profundidad total de 0,30 m. El canal será excavado en el terreno orgánico. El espesor del revestimiento será de 0,10 m. El tamaño promedio de la roca del revestimiento será de 0.10m a 0.15 m (6").

Debido a que algunas pendientes exceden el 30%, se ha considerado colocar elementos disipadores la energía en los canales.

El canal de derivación descargará en una poza de retención y derivara sus aguas al aliviadero de demasías. *Ver Plano 5 - Diseño Final*

5.11 COBERTURA

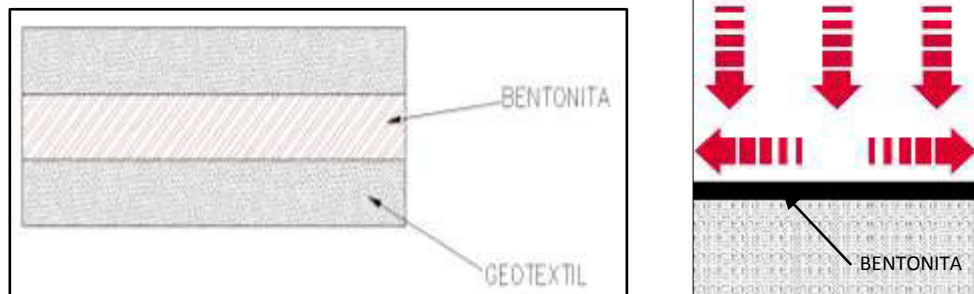
5.11.1 COBERTURA CON GCL + GEOMEMBRANA

Se completa la cobertura con GCL + Geomembrana en toda el área dentro del DMB, incluido la plataforma superior y los diques. La colocación de las coberturas se realizó por sectores, para asegurar que la geomembrana no tenga un desgaste prematuro. Para unir cada sector, se utilizó una selladora térmica. Todo el trabajo con los geosintéticos se realizó con el apoyo de un Técnico especialista en coberturas.

Antes de la instalación, la superficie que recibirá el geosintético deberá estar lisa, libre de obstrucciones, depresiones y objetos afilados. El GCL+ Geomembrana deberá ser colocado con la dimensión larga bajo el talud y deberá dejarse liso y libre de tensión, estrés, pliegues, arrugas o rayas.

Figura 15

Estructura del GCL y su propiedad de barrera



El GCL (Revestimiento geosintético de bentonita) es un tipo de geomembrana prefabricado con una capa de bentonita (arcilla muy fina compuesta principalmente por montmorillonita) entre dos capas de geotextil. La arcilla al hidratarse, forma una barrera hidráulica que impide el paso de los fluidos. Los iones de sodio en la bentonita hacen que se expanda hasta 20 veces su volumen original.

En la parte superior de los taludes, la geomembrana deberá estar asegurado en una trinchera de anclaje y luego desplegarse cuesta abajo. Una vez que se haya desplegado la geomembrana, deberá ser reubicado manualmente, de ser necesario, para minimizar arrugas y pliegues. Durante las operaciones de instalación del Geomembrana, el Instalador deberá realizar el mayor esfuerzo posible de modo de minimizar los desperdicios.

Figura 16
Estructura del Geomembrana



Las propiedades del Geomembrana se nombran a continuación:

Tabla 30: Propiedades del Geomembrana

Propiedad	Designación del Ensayo	Valor	Frecuencia de ensayo (Mínima)
Espesor	ASTM D-5199	1.5 mm	Cada rollo
Gravedad Específica	ASTM D-1505/D-792	0.935-0.940	90,000 kg
Elongación en el Punto de Fluencia	ASTM D-6693 Tipo IV	Min. 13 %	9,000 kg
Resistencia al desgarro	ASTM D-1004	Min. 190 N	9,000 kg
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	Min. 480 N	9,000 kg

5.11.2 COBERTURA CON MATERIAL ORGÁNICO (TOP SOIL) Y MATERIAL DE BAJA PERMEABILIDAD

Figura 17: Cobertura para el DMB



Se cubrirá con material de baja permeabilidad en un espesor de 0.20 m, previa culminación de la instalación del GLC + Geomembrana. Esta capa permitirá proteger el GCL + Geomembrana y darle mejor uniformidad y consistencia al material orgánico. Terminada esta cobertura se procederá a sembrar con pastos cultivados y nativos la superficie, quedando por parte de la empresa minera su respectivo mantenimiento y riego.

5.12 OBRAS COMPLEMENTARIAS

5.12.1 OBRAS COMPLEMENTARIAS

Como obras complementarias se consideraran partidas de recalce en las áreas desgastadas, el suministro e instalación de un piezómetro.

El monitoreo de las variaciones piezométricas se realizara midiendo directamente el nivel de agua en el interior del sistema a través de una sonda eléctrica, este registro nos indicara la carga de presión existente en el

momento de la lectura en el piezómetro instalado en el fondo de la perforación. Sería recomendable instalar un piezómetro en la cresta del dique y otro en el talud para posteriormente implementar un plan de monitoreo que permita establecer el comportamiento hidrológico y caracterización del agua para un futuro plan de remediación de ser el caso.

Finalmente, con el propósito de evitar el uso de la superficie de los depósitos impermeabilizados por personas o animales, con el consiguiente riesgo de un probable deterioro, se ha previsto la instalación de un cerco alrededor del DMB. Este cerco estará conformado por una malla olímpica galvanizada de 1.20 m de altura, coronada por tres hileras de alambre de púas espaciadas verticalmente cada 10 cm y sujetos a postes de tubo de fierro galvanizado espaciados cada 3,0 m aproximadamente, este cerco tendrá dos puertas, una puerta de dos hojas para acceder a la plataforma y otra puerta de una hoja para acceder a la poza de monitoreo de subdrenaje.

5.12.2 MONITOREO

Para garantizar el correcto funcionamiento del depósito, se realizará un constante monitoreo del DMB para comprobar que todo esté funcionando correctamente

5.12.2.1 MONITOREO GEOTÉCNICO

Para el control de desplazamiento y asentamiento se construyen 5 bases cuadradas de concreto ($f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$) que servirán como hitos topográficos

Estos hitos están protegidos contra la intemperie. Dos de estos hitos se ubicaran afuera del DMB.

5.12.2.2 MONITOREO HIDROLÓGICO

Este piezómetro permitirá monitorear las variaciones que se producen en el nivel y calidad del agua subterránea en el DMB debido al

subdrenaje que existe dentro del depósito por un afloramiento de agua en el subsuelo.

Además, se colocará 1 piezómetro para la constante evaluación de las aguas subterráneas en todo el límite del depósito.

5.12.3 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

El objetivo principal es asegurar que se utilicen técnicas y procedimientos de construcción apropiados y que el proyecto se desarrolle de acuerdo con las especificaciones y planos de diseño. El propósito de este programa CQA es identificar y definir problemas que pudieran ocurrir durante la construcción y verificar que éstos se corrijan antes de finalizarla. El Ingeniero deberá elaborar un informe final escrito que resuma las actividades de construcción y verifique que ésta se llevó a cabo de acuerdo con los planos de diseño y las especificaciones, o sus modificaciones de ser el caso.

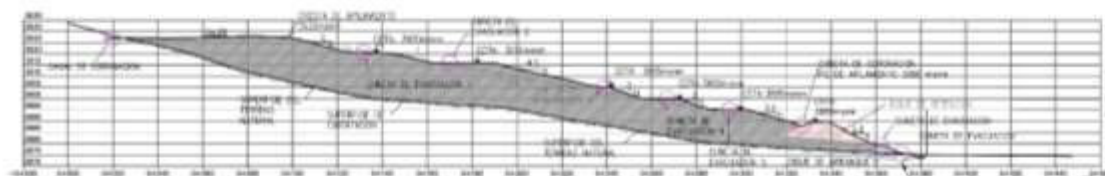
Para estos trabajos, se contó con un Manual de Aseguramiento de la Calidad de la Construcción, en la cual se verifica principalmente:

- Aseguramiento de Trabajos de Movimiento de Tierras.
- Aseguramiento de la calidad del sistema de subdrenaje.
- Aseguramiento de la calidad de los Geosintéticos.
- Aseguramiento de la calidad del concreto.

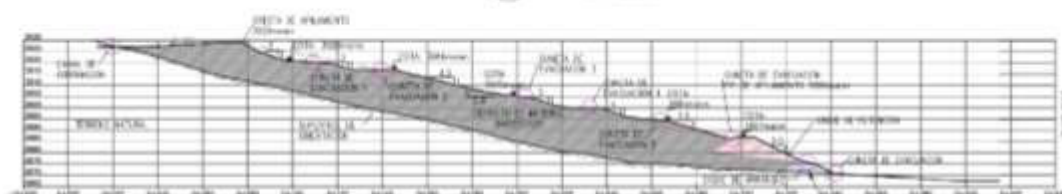
Todas las verificaciones se registran en un libro de obra.



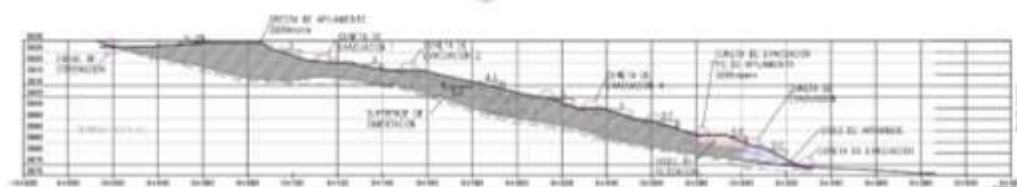
4.17 m
Escala 1/1000



4.17 m
Escala 1/1000



4.17 m
Escala 1/1000



4.17 m
Escala 1/1000

DIQUE DE RETENCIÓN	
DIQUE ARRANQUE	
MATERIAL INADECUADO	



Escala: 1/2000

TÍTULO			
CLASIFICACIÓN	SECTOR	PROYECTO	FECHA
ALCALA	MOB. IN. / 175	CAJAMARCA	1/2000
REVISIÓN Y APROBACIÓN	PETRO	FECHA	FECHA
A. ARROYO	JAN/2015	1/2000	HUALAYOC
CORTES		HUALAYOC	



UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS

CORTES

PLANO N°

06

CAPITULO 6. COSTOS

6.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS Y GEOSINTÉTICOS.

Como parte del diseño de detalle se han determinado las cantidades para movimiento de tierras, tuberías y materiales geosintéticos, con la finalidad de proporcionar los costos estimados de la obra.

El cálculo de cantidades realizado ha incluido la estimación de los volúmenes de movimiento de tierras requerido para la conformación de la superficie nivelada de acuerdo con el diseño, remoción de escombros, excavación de material orgánico (topsoil), de desbroce (estimación realizada en base a los resultados de la investigación geotécnica efectuada al inicio del proyecto), de material común (material de corte a ser utilizado para relleno); y finalmente, volúmenes de relleno estructural compactado.

6.2 ESTIMADO DE COSTOS

El cálculo de los costos de construcción ha sido elaborado en base a la información disponible en la base de datos, y que ha sido empleada en proyectos similares, y que son actualizados en forma periódica para proporcionar una estimación más real del costo final de construcción. Los costos unitarios de materiales han sido obtenidos de cotizaciones solicitadas a proveedores locales, mientras que los costos unitarios de movimiento de tierras han sido obtenidos de los costos utilizados en proyectos similares.

Para este trabajo, el costo total se calcula en \$ 3'981,782.31

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Factor de Cont.	Metrado Total	Precio Unitario US\$	Precio Parcial US\$
1.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS						
1.01	Excavación y limpieza de desbroce en dique de retención y poza de subdrenaje (hasta el nivel de cimentación)	m ³	26,460	5%	27,783	2.1	58,344.30
1.02	Excavación de trincheras de subdrenaje	m ³	1,600	5%	1,680	6.47	10,869.60
1.03	Transporte, colocación y nivelación de cama de apoyo para el sistema de subdrenaje	m ³	170	5%	179	6.95	1,240.58
1.04	Procesamiento, transporte y colocación de grava para drenaje en las trincheras de subdrenaje	m ³	1,430	5%	1,502	13.19	19,804.79
1.05	Procesamiento, transporte y colocación de grava para drenaje en el sistema de colección de efluentes	m ³	900	5%	945	13.19	12,464.55
1.06	Relleno estructural para conformación de dique de arranque y poza de subdrenaje con material de préstamo	m ³	90,600	5%	95,130	6.02	572,682.60
1.07	Relleno estructural para conformación de dique de retención	m ³	114,000	5%	119,700	6.02	720,594.00
1.08	Aliviadero de Demasías	global	1	0%	1	14000	14,000.00
1.09	Transporte, colocación y compactación de suelo de baja permeabilidad en cuneta en dique de retención y poza de subdrenaje	m ³	1,126	5%	1,182	6.62	7,826.83
1.1	Transporte y colocación de relleno para bermas de seguridad en dique de retención	m ³	1,295	5%	1,360	8.1	11,013.98
1.11	Excavación y relleno de trincheras de anclaje	m ³	995	5%	1,045	8.8	9,193.80
1.12	Transporte y colocación de base de camino, e=200mm	m ³	1,060	5%	1,113	7.62	8,481.06
1.13	Excavación manual de canales y cunetas	m ³	2,220	5%	2,331	11.7	27,272.70
	Subtotal						1,473,788.77
2.00	MATERIALES GEOSINTETICOS						
2.01	Sistema de Revestimiento						
2.01.01	Geomembrana para el Dique de Retención - Material	m ²	6,935	7%	7,420	3.9	28,939.76
2.01.02	Geomembrana para el Dique de Retención - Mano de Obra	m ²	6,020	0%	6,020	0.25	1,505.00

2.01.03	Geomembrana lisa de HDPE de 1.5mm para la Poza de Subdrenaje - Material	m ²	680	7%	728	4.12	2,997.71
2.01.04	Geomembrana lisa de HDPE de 1.5mm, Poza de Subdrenaje - Mano de Obra	m ²	600	0%	600	0.66	396.00
2.02	Sistema de Subdrenaje						
2.02.01	Tubería perforada HDPE de pared doble de 450mm de diámetro para subdrenes principales - Material	m	40	5%	42	42.3	1,776.60
2.02.02	Tubería perforada HDPE de pared doble de 450mm de diámetro para subdrenes principales - Mano de Obra	m	40	0%	40	0.86	34.40
2.02.03	Tubería perforada HDPE de pared doble de 300mm de diámetro para subdrenes principales - Material	m	1,610	5%	1,691	20.1	33,979.05
2.02.04	Tubería perforada HDPE de pared doble de 300mm de diámetro para subdrenes principales - Mano de Obra	m	1,610	0%	1,610	0.58	933.80
2.02.05	Tubería perforada HDPE de pared doble de 200mm de diámetro para subdrenes laterales - Material	m	1,750	5%	1,838	12.69	23,317.88
2.02.06	Tubería perforada HDPE de pared doble de 200mm de diámetro para subdrenes laterales - Mano de Obra	m	1,750	0%	1,750	0.36	630.00
2.02.07	Tubería sólida de HDPE SDR 21 de 450mm de diámetro para subdrenes principales - Material	m	10	5%	11	125	1,312.50
2.02.08	Tubería sólida de HDPE SDR 21 de 450mm de diámetro para subdrenes principales - Mano de Obra	m	10	0%	10	7	70.00
2.02.09	Tapa tubería de HDPE de pared doble de 200mm	unid	6	1	7	15.6	109.20
2.02.10	Tapa tubería de HDPE de pared doble de 300mm	unid	31	3	34	8.84	300.56
2.02.11	Yee tubería de HDPE de pared doble de 450x450x300mm	unid	2	1	3	83.2	249.60
2.02.12	Yee tubería de HDPE de pared doble de 300x300x300mm	unid	3	1	4	123.33	493.32
2.02.13	Yee tubería de HDPE de pared doble de 300x300x200mm	unid	31	3	34	147.55	5,016.70
2.02.14	Codo a 30° tubería de HDPE de pared doble de 300mm	unid	3	1	4	59.28	237.12
2.02.15	Reducción de HDPE de pared doble de 450mm a 300mm	unid	1	0	1	161.2	161.20
2.02.16	Coplas partidas para tubería de HDPE de pared doble de 450mm	unid	11	1	12	57.2	686.40
2.02.17	Coplas partidas para tubería de HDPE de pared doble de 300mm	unid	347	34	381	9.36	3,566.16
2.02.18	Coplas partidas para tubería de HDPE de pared doble de 200mm	unid	322	32	354	5.2	1,840.80
2.02.19	Copla para transición de tubería de HDPE de pared doble a tubería sólida de HDPE SDR 21 de 450mm	unid	1	0	1	50	50.00

2.02.20	Botas de HDPE de 450 mm (a ser construidas en campo por el instalador de geosintéticos)	unid	1	0	1	180	180.00
2.02.21	Geotextil no tejido de 270g/m2 para trinchera de subdrenaje - Material	m ²	10,820	7%	11,577	0.9	10,419.66
2.02.22	Geotextil no tejido de 270g/m2 para trinchera de subdrenaje - Mano de Obra	m ²	10,820	0	10,820	0.25	2,705.00
3.00	SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL						
3.01	Canal de Coronación y Aliviadero de Demasías						
3.01.01	Movilización de equipo @ 5%	global	1	0%	1	1,378.94	1,378.94
3.01.02	Emboquillado (e = 200mm), para canal de coronación	m ³	470	5%	494	13.2	6,514.20
3.01.03	Emboquillado (e = 200mm), para canal en dique de retención	m ³	655	5%	688	13.2	9,078.30
3.01.04	Empedrado (e = 300mm), para estructuras para control de erosión	m ³	33	5%	35	13.6	471.24
3.01.05	Empedrado con concreto (e = 200mm), para aliviadero de demasías	m ³	40	5%	42	17.5	735.00
3.01.06	Concreto Armado para losa en aliviadero de demasías	m ³	70	7%	75	140	10,486.00
3.02	Cunetas de Evacuación						
3.02.01	Nivelación interior y apisonado	m ²	6030	5%	6,332	0.84	5,318.46
3.02.02	Mampostería de Piedra sobre Concreto f'c=140kg/cm ² (e=0.15 m)	m ²	4190	5%	4,400	18.2	80,070.90
3.02.03	Estructura de Transición de Canal	unid	10	0%	10	357.1	3,571.00
3.03	Cunetas de Derivación						
3.03.01	Nivelación interior y apisonado	m ²	335	5%	352	0.84	295.47
3.03.02	Mampostería de Piedra sobre Concreto f'c=140kg/cm ² (e=0.15 m)	m ²	263	5%	276	18.2	5,025.93
3.03.03	Estructura de Transición de Canal	unid	1	0%	1	357.1	357.10
	Subtotal						123,302.54
4.00	COBERTURA						
4.01	Cobertura en diques						
4.01.01	Nivelación de superficie	m ²	22276	5%	23,390	0.84	19,647.43
4.01.02	Instalación de GCL + Geomembrana - Material y mano de obra	m ²	22276	7%	23,835	4.2	100,108.34
4.01.03	Cubierta de capa de rodadura (e=0.20m)	m ²	22276	5%	23,390	1.97	46,077.91
4.01.04	Cubierta de material orgánico (e=0.20m)	m ²	22276	5%	23,390	1.98	46,311.80
4.01.05	Sembrío de Pastos Nativos	m ²	22276	5%	23,390	1.78	41,633.84

4.02	Cobertura en plataforma						
4.02.01	Nivelación de superficie	m ²	16,154	5%	16,962	0.84	14,247.83
4.02.02	Instalación de GCL + Geomembrana - Material y mano de obra	m ²	16,154	7%	17,285	4.2	72,596.08
4.02.03	Cubierta de capa de rodadura (e=0.20m)	m ²	16,154	5%	16,962	1.97	33,414.55
4.02.04	Cubierta de material orgánico (e=0.20m)	m ²	16,154	5%	16,962	1.98	33,584.17
4.02.05	Sembrío de Pastos Nativos	m ²	16,154	5%	16,962	1.78	30,191.83
4.03	Cobertura en taludes y bancos						
4.03.01	Nivelación de superficie	m ²	112,162	5%	117,770	0.84	98,926.88
4.03.02	Instalación de GCL + Geomembrana - Material y mano de obra	m ²	112,162	7%	120,013	4.2	504,056.03
4.03.03	Cubierta de capa de rodadura (e=0.20m)	m ²	112,162	5%	117,770	1.97	232,007.10
4.03.04	Cubierta de material orgánico (e=0.20m)	m ²	112,162	5%	117,770	1.98	233,184.80
4.03.05	Sembrío de Pastos Nativos	m ²	112,162	5%	117,770	1.78	209,630.78
	Subtotal						1,715,619.36
5.00	MISCELANEO						
5.01	Movilización de equipo @ 5%	global	1	0%	1	480.5	480.50
5.02	Instrumentación geotécnica (Piezómetros)	global	1	0%	1	4,000.00	4,000.00
5.03	Baranda de seguridad en aliviadero de demásías	m	60	5%	63	15.25	960.75
	Subtotal						5,441.25
	COSTO DIRECTO						3,318,151.93
	CONTINGENCIA (10%)						331,815.19
	EPCM (10%)						331,815.19
	TOTAL						3,981,782.31

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

1. La operación a tajo abierto requiere remover materiales de desbroce para establecer un nivel de cimentación para la construcción de sus componentes como el Pad de Lixiviación. Por ese motivo, se realiza un diseño de depósito de material de desbroce (DMB) para su disposición final de estos materiales.
2. Se hace un diseño contrarrestando la inadecuada geomorfología que presenta el lugar, obteniendo un área de depósito de $112,100 \text{ m}^2$ y una capacidad de $1'140,000 \text{ m}^3$.
3. Los resultados en laboratorio dieron como resultados favorables para el aprovechamiento de materiales existentes en la zona para la construcción de los diques. Asimismo, el material de desbroce arrojó que tiene potencial de generar aguas ácidas.
4. Para ejecutar este diseño se tuvo que seguir diferentes metodologías como: Distribución de Probabilidades, Método Racional, Aceleración Sísmica, Caracterización Geoquímica de los Materiales, Análisis de Estabilidad de Taludes y Ensayos en el Laboratorio.
5. Las pruebas realizadas en gabinete de la estabilidad del DMB final dan como resultado que el factor de Seguridad del depósito es de 2.78 (Estático) y 1.6 (Seudoestático) para la Sección 1; y 2.61 (Estático) y 1.55 (Seudoestático) para la Sección 2. Para el cálculo seudoestático se tomó 0.15 como coeficiente de aceleración sísmica.
6. Se obtuvo como precipitación máxima en 24 horas 119 mm para un tiempo de retorno de 500 años. Se eligió el método Pearson Tipo III.
7. Para el control de las aguas pluviales, el sistema de drenaje superficial se ha diseñado cumpliendo el método racional para obtener el mayor volumen de agua captado. Se obtuvo la sección para dichos canales y cunetas.
8. La cobertura es la finalización del cierre del depósito. Para eso se colocará GCL + Geomembrana y una capa de material permeable, que en este caso será grava, con espesor variable en toda la superficie del DMB. Posteriormente se colocará material orgánico ($e=0.10\text{m}$) para el sembrío de plantas nativas.
9. El DMB cumple con todos los requisitos de diseño de construcción y operación. Posteriormente se procede a su cierre definitivo reduciendo al mínimo el impacto ambiental que pudiese causar el componente. Los cálculos realizados tienen como tiempo de retorno de 500 años.

CAPITULO 8. RECOMENDACIONES FINALES

1. Este tipo de depósito tiene mayor efectividad en operaciones a cielo abierto. Debido a que, en este tipo de minería, hay bastante material de desbroce antes y durante sus operaciones.
2. La magnitud de la obra hace que se tome como periodo de retorno de 500 años. De esta manera, se diseña considerando valores máximos para mayor seguridad.
3. Para estos tipos de depósitos, se recomienda que no sólo se haga su diseño de ejecución, también se debe agregar su diseño de cierre para minimizar el impacto ambiental y reducir costos (obras civiles y en plan de cierre).
4. Los geosintéticos deben contar sus especificaciones técnicas para evitar deterioro durante su manipulación. Se debe contar con personal calificado para realizar los trabajos con estos materiales.
5. Finalmente, el cierre debe considerar su revegetación con plantas nativas de la zona, a fin de no afectar el ecosistema con la introducción de especies ajenas al entorno.

CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA

1. *"Hidráulica de Canales"* – Máximo Villon Béjar (2007)
2. *"Hidráulica de Canales"* – UNAM (2007)
3. *"Hidrología Básica y Aplicada"* – GITS
4. *"Diseño de estructuras hidráulicas"* – Máximo Villon Béjar (2005)
5. *"Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels"* - National Highway Institute (2006)
6. *"Investigation and Desgin of Mine Dumps"* – Piteau Associates Engineering Ltd. (1991)
7. *"Construcción de Botaderos de Desmonte a partir de una Clasificación Geotécnica en Zonas de Climas Secos con Inviernos Rigurosos"* – Carlos Aguirre Carpio (2007)
8. *"Geomorfología de Cajamarca"* – Ing. German Alcántara Boñon (2010-11)
9. *"Mecánica de Suelos : Fundamentos de la Mecánica de Suelos" 3ra Edición* – Eulalio Juárez Badillo – Alfonso Rico Rodríguez
10. *"Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes"* – Pedro Ramírez y Leandro Alejano (2004)
11. *"Guía Para la Elaboración de Planes de Cierre de Minas"* – MEM (2006)
12. *"Decreto Supremo N° 024-2016-EM"* – MEM (2016)
13. *"Cartera Estimada de Proyectos Mineros"* – MEM (2015)
14. *"Distribuciones Probabilísticas de Uso Común"* - Badii, M. H. y J. Castillo (2009)
15. *"Manual Técnico de Geomembranas"* – Politex (2004)
16. *"Guía para el Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineras"* – MEM (2007)
17. *"Restauración y remediación I: El Terreno"* – www.uclm.es